

Improving the Performance of MIMO Fading Channel Simulators Using New Parameterization Method

Omar Yousuf Alzoubi

Faculty of Engineering || Al-Wataniya Private University || Syria

Abstract: The research aims to modeling and simulation of fading channels for providing necessary tool to develop communication systems. The modeling and simulation of MIMO fading channels is studied for both isotropic- and non-isotropic scattering cases for one-ring model, so in this context, three methods for MIMO simulation channel models are studied: Extended Method of Exact Doppler Spread (EMEDS), Modified Method of Equal Areas (MMEA) and Method Lp-Norm (LPNM). Three new methods are also suggested to design the simulation model of MIMO channel: Modified Extended Method of Exact Doppler Spread (MEMEDS), New Modified Method of Equal Areas (NMMEA) and Modified Lp-Norm method (MLPNM). The performance of each proposed method is compared with the original method by comparing the statistical properties ACF, 2D-CCF and CF of both reference and simulation models.

Keywords: Modified Extended Method of Exact Doppler Spread, New Modified Method of Equal Areas, Modified Lp- Norm Method.

تحسين أداء نموذج محاكاة الخفوت للأقنية MIMO باستخدام خوارزميات جديدة لحساب المعاملات

عمريوسف الزعبي

كلية الهندسة || الجامعة الوطنية الخاصة || سوريا

المخلص: هدَفَ البحثُ إلى نمذجة ومحاكاة الخفوت في أقنية الاتصالات بُغية توفير الأداة الضرورية لتطوير أنظمة الاتصالات، حيث تمَّ دراسة نمذجة ومحاكاة الأقنية MIMO في حالتَي التبعثر المتجانس وغير المتجانس لنموذج الحلقة الواحدة، لذلك تمَّ بهذا السياق دراسة ثلاثة طرق لنمذجة القناة MIMO هي طريقة انتشار دوبلر الدقيق المُوسَّعة (EMEDS)، طريقة المساحات المتساوية المُعدَّلة (MMEA) وطريقة تنظيم Lp (LPNM)، كما تمَّ اقتراح ثلاثة طرق جديدة لتصميم نموذج محاكاة القناة MIMO هي طريقة انتشار دوبلر الدقيق المُوسَّعة المُعدَّلة (MEMEDS)، طريقة المساحات المتساوية المُعدَّلة الجديدة (NMMEA) وطريقة تنظيم Lp المُعدَّلة (MLPNM). تمَّ مُقارَنة أداء كل طريقة مُقترَحة مع الطريقة الأصلية بمُقارَنة الخصائص الإحصائية ACF، 2D-CCF و CF للنموذجين المرجعي والمحاكاة. الكلمات المفتاحية: طريقة انتشار دوبلر الدقيق المُوسَّعة المُعدَّلة، طريقة المساحات المتساوية المُعدَّلة الجديدة، طريقة تنظيم Lp المُعدَّلة.

1- المقدمة:

تهدف شبكات الاتصالات الحديثة إلى تحقيق سعة عالية ومُعدَّل إرسال عالي للمعطيات، حيث يتمُّ تحسين السعة باستخدام تقنية الأقنية مُتعدِّدة المدخل-مُتعدِّدة المخرج (Multiple-Input Multiple-Output) (MIMO)، لكن يرتبط تقييم أداء السعة بخصائص الانتشار مُتعدِّد المسارات للأقنية، يُضاف إلى ذلك أنَّ توصيف القناة

تجريبياً هو أمرٌ معقّدٌ ويستغرق زمناً طويلاً وذو تكلفة مادية عالية، لذلك تكمن هنا أهمية نمذجة ومحاكاة أقدنية MIMO في تقييم أداء وتصميم وتطوير أنظمة الاتصالات^[1]. تتيم نمذجة ومحاكاة الخفوت في أقدنية MIMO في حالي التبعثر المتجانس وغير المتجانس انطلاقاً من نماذج تبعثر هندسية معينة. يمكن أن تكون نماذج أقدنية MIMO حتمية^[2] أو عشوائية (Stochastic)، حيث تُصنّف الأخيرة إلى نماذج عشوائية ذي أشكال غير هندسية (Non-Geometrical) (NGSMs) Stochastic Models^[3] ونماذج عشوائية ذي أشكال هندسية (Geometry-Based Stochastic Models) (GBSMs) Models^{[4]-[6]}. يتم استنتاج GBSM من التوزيعات العشوائية للمبعثرات الفعالة بتطبيق القوانين الأساسية لانتشار الموجة، حيث يمكن الحصول على نماذج تبعثر هندسية مُلائمة لسيناريوهات مختلفة بتغيير الشكل الهندسي لمنطقة التبعثر. نذكر منها نموذج الحلقة الواحدة (One-ring)^[7]، نموذج الحلقتين (Two-ring)^[8,9] والنموذج القطعي (Elliptical)^[10]. إن تطبيق مبدأ المبعثرات الفعالة يخفّض من تعقيد GBSM، لأنّ عملية النمذجة تتيم بأخذ تأثير التبعثر المفرد أو المضاعف بعين الاعتبار^[11]. يُبين^[9] نموذج الحلقتين GBSM الذي يأخذ بعين الاعتبار المُركبات ذات الارتداد المضاعف (double-bounced rays) من أجل التبعثر غير المتجانس للأقدنية MIMO بخفوت Rayleigh ضمن البيئات macro-cells، بينما تمّ اقتراح نموذج الحلقتين المُعمّم في^[6]، الذي يأخذ بعين الاعتبار المُركبات ذات الارتداد المفرد والمضاعف (single- and double-bounced components) من أجل التبعثر غير المتجانس للأقدنية MIMO بخفوت Rice ضمن البيئات micro-cells و macro-cells. يُبين^[12] أنّ نموذج الحلقتين مع إهمال مُركبة خط النظر (Line-Of-Sight) (LOS) يُعتبر مُلائماً لوصف البيئات macro-cells بشكل جيد، بينما يُستخدم النموذج القطعي لنمذجة أقدنية الاتصال ثابت-إلى-متحرك (Fixed-to-Mobile) (F2M) ضمن البيئات pico-cells و micro-cells^[13]. يفترض نموذج الحلقة الواحدة أنّ المرسل وهو جهاز الاتصال النقال (Mobile Station) (MS) مُحاط بعدد غير مُحدّد من المبعثرات على خلاف النموذجين الآخرين، أمّا بالنسبة لكل من نموذج الحلقتين والقطعي فإنّ المبعثرات تتوضّع بالقرب من المرسل والمستقبل.

2- مشكلة البحث:

يُعالج البحث نمذجة ومحاكاة الخفوت في أقدنية MIMO لأنظمة الاتصالات النقالية، حيث تمّ دراسة ثلاثة طرق لتصميم نموذج محاكاة القناة MIMO هي:

1. طريقة انتشار دوبلر الدقيق المُوسّعة (Extended Method of Exact Doppler Spread) (EMEDS).
2. طريقة المساحات المتساوية المُعدّلة (Modified Method of Equal Areas) (MMEA).
3. طريقة تنظيم Lp (Lp-Norm) (LPNM).

كما تمّ اقتراح ثلاثة طرق جديدة لتصميم نموذج محاكاة القناة MIMO هي:

1. طريقة انتشار دوبلر الدقيق المُوسّعة المُعدّلة (Modified Extended Method of Exact Doppler Spread) (MEMEDS).

2. طريقة المساحات المتساوية المُعدّلة الجديدة (New Modified Method of Equal Areas) (NMMEA).

3. طريقة تنظيم Lp المُعدّلة (Modified Lp-Norm) (MLPNM).

تمّ مقارنة أداء كل طريقة مُقترحة مع الطريقة الأصلية من خلال تقييم أداء الخصائص الإحصائية للنموذجين المرجعي والمحاكاة. نذكر منها خصائص الترابط الزمنية (Autocorrelation Function) (ACF)، تابع ترابط التقاطع الفضائي ثنائي البعد (two-dimensional Cross-Correlation Function) (2D-CCF) وتابع الترابط للمرسل (Correlation Function) (CF). تُستخدم الطرق الست المذكورة أعلاه لإيجاد معاملات نموذج المحاكاة وهي زوايا

الإرسال (AODs) (Angle Of Departure) وزوايا الوصول (AOAs) (Angle Of Arrival). تتجلى فائدة هذا البحث في تزويد مُصممي أنظمة الاتصالات النقالة بهيكلية عمل هامة للتحقق من مفاهيم الإرسال الجديدة التي تُستخدم تقنيات MIMO ضمن شروط الانتشار الحقيقية.

3- مواد البحث وطرائقه:

تمَّ استخدام بيئة البرمجة ماتلاب MATLAB R2010a من أجل برمجة المعادلات.

4- خوارزميات حساب معاملات نموذج محاكاة الألفية MIMO:

تُستخدم خوارزميات حساب معاملات نموذج المحاكاة لإيجاد القيم المناسبة لمعاملات النموذج، بحيث تكون الخصائص الإحصائية لنموذج المحاكاة قريبة بشكل كافي لتلك بالنسبة للنموذج المرجعي.

4-1 طريقة انتشار دوبلر الدقيق الموسعة EMEDS:

تمَّ تقديم الطريقة EMEDS في [14] كتوسعة لطريقة انتشار دوبلر الدقيق (Method of Exact Doppler Spread) (MEDS) المُقدّمة في [15]، حيث تُستخدم الأخيرة في حساب معاملات نماذج الألفية المعتمدة على مبدأ جمع التوافقيات الجيبية (SOS) (Sum-Of-Sinusoids). تُطبَّق الطريقة EMEDS في نمذجة الألفية MIMO ذات كثافة طيف الاستطاعة (PSD) (Power Spectral Density) المتناظرة أي حالة التبعثر المتجانس حول المستقبل، حيث تكون المبعثرات مُتوضّعة وموزّعة بشكل منتظم على حلقة مركزها المستقبل.

تُعطى معاملات النموذج AOAs α_n^R وفقاً لهذه الطريقة بالعلاقة التالية:

$$\alpha_n^R = \frac{2\pi}{N} \left(n - \frac{1}{2}\right) + \alpha_0^R, n = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

حيث N : عدد المبعثرات حول المستقبل MS. α_0^R : زاوية الدوران (Angle of rotation) مُعطاة بالعلاقة:

$$\alpha_0^R = \frac{\alpha_n^R - \alpha_{n-1}^R}{4} = \frac{\pi}{2N} \quad (2)$$

4-2 طريقة المساحات المتساوية المُعدّلة MMEA:

يوجد العديد من الطرق المستخدمة لإيجاد معاملات نماذج الألفية المعتمدة على مبدأ التوافقيات الجيبية العقدية (SOC) (Sum-Of-Cisoids) في حالة التبعثر غير المتجانس [16]، حيث تعطي الطريقة MMEA حلاً جيداً لمثل هذه الحالات. تُعتبر الطريقة MMEA [17,18] نسخة مُعدّلة عن طريقة المساحات المتساوية (Method of Equal Areas) (MEA) المُقدّمة في [19]. تمَّ اقتراح الطريقة MEDS+MEA في [20,21] التي تجمع خاصيتي الطريقتين MEDS و MEA. تُستخدم الطريقة MMEA لتصميم نماذج محاكاة الألفية في حالة التبعثر غير المتجانس، كما يمكن تطبيقها من أجل أي توزيع مُعطى لـ AOAs α_n^R و AODs α_m^T . تُعطى معاملات النموذج وفق هذه الطريقة بالعلاقة:

$$\frac{m - 1/4}{M} - \int_{\mu_T - \pi}^{\alpha_m^T} f(\alpha^T) d\alpha^T = 0, m = 1, 2, \dots, M$$

$$\frac{n - 1/4}{N} - \int_{\mu_R - \pi}^{\alpha_n^R} f(\alpha^R) d\alpha^R = 0, n = 1, 2, \dots, N \quad (3)$$

حيث M و N : عدد المبعثرات حول المرسل وهو محطة القاعدة (BS) (Base Station) والمستقبل MS على الترتيب، μ_R و μ_T : متوسطي التوزيعين $f(\alpha^R)$ و $f(\alpha^T)$ و α_m^T AODs و α_n^R AOA's على الترتيب. يتم حساب المعاملات α_m^T AODs و α_n^R AOA's بإيجاد جذور المعادلة (3) عددياً.

3-4 طريقة تنظيم LPNM:

تُطبق الطريقة LPNM في حالة التبعثر غير المتجانس حول المرسل والمستقبل، حيث يتم إيجاد المعاملات α_n^R AOA's من خلال الوصول إلى القيم الصغرى لكل من التنظيمين التاليين^[16]:

$$E_1^{(p)} = \left\{ \frac{1}{\tau_{\max}} \int_0^{\tau_{\max}} |r_{h_{11}}(\tau) - \rho_{h_{11}}(\tau)|^p d\tau \right\}^{1/p} \quad (4)$$

$$E_2^{(p)} = \left\{ \frac{1}{\delta_{\max}^T \delta_{\max}^R} \int_0^{\delta_{\max}^T} \int_0^{\delta_{\max}^R} |\rho(\delta_T, \delta_R) - \beta(\delta_T, \delta_R)|^p d\delta_R d\delta_T \right\}^{1/p} \quad (5)$$

حيث $p = 1, 2, \dots$ ، المعاملات τ_{\max} ، δ_{\max}^R ، δ_{\max}^T : ثوابت حقيقية تُحدّد الحدود العليا للمجالات التي يتحقق من أجلها التقريبين $\beta(\delta_T, \delta_R) \approx \rho(\delta_T, \delta_R)$ و $\rho_{h_{kl}}(\tau) \approx r_{h_{kl}}(\tau)$. يعتمد مبدأ عمل هذه الطريقة على تحسين معاملات النموذج α_n^R AOA's انطلاقاً من قيم بدائية لمعاملات النموذج باستخدام الطريقة MMEA.

4-4 طريقة انتشار دوبلر الدقيق الموسّعة المُعدّلة MEMEDS:

تُستخدَم الطريقة المُقترحة هذه لإيجاد معاملات نموذج المحاكاة α_n^R AOA's في حالة التبعثر المتجانس حول المرسل والمستقبل. تُعطى معاملات النموذج α_n^R AOA's وفق هذه الطريقة بالعلاقة التالية:

$$\alpha_n^R = \frac{2\pi}{N}(n) + \alpha_0^R, n = 1, 2, \dots, N \quad (6)$$

حيث تُعطى زاوية الدوران α_0^R بالعلاقة التالية:

$$\alpha_0^R = \frac{\alpha_n^R - \alpha_{n-1}^R}{2} = \frac{\pi}{N} \quad (7)$$

5-4 طريقة المساحات المتساوية المُعدّلة الجديدة NMMEA:

تمّ اقتراح هذه الطريقة لإيجاد معاملات نموذج محاكاة الألفية MIMO ضمن حالات التبعثر غير المتجانس حول المرسل والمستقبل، حيث تمّ تعديل الطريقة MMEA بحيث يكون الخطأ المُطلق لتابعي ترابط المرسل للنموذجين المرجعي والمحاكاة أقل ما يمكن. يُعطى تابع الخطأ المُطلق وفق العلاقة التالية:

$$e_T(\delta_T, \tau) = |\rho_T(\delta_T, \tau) - \beta(\delta_T, \tau)| \quad (8)$$

حيث δ_T : التباعدات بين هوائيات المرسل. نُجري تعديلاً على العلاقة (3) المُستخدمة لإيجاد AOA's و α_m^T AODs وفق الطريقة MMEA لتصبح كما يلي:

$$\frac{m-q}{M} - \int_{\mu_T - \pi}^{\alpha_m^T} f(\alpha^T) d\alpha^T = 0, m = 1, 2, \dots, M$$

$$\frac{n-q}{N} - \int_{\mu_R - \pi}^{\alpha_n^R} f(\alpha^R) d\alpha^R = 0, n = 1, 2, \dots, N$$
(9)

حيث $q \in [0, 1]$: عدد حقيقي موجب. يتم اختيار قيمة q بحيث يكون تابع الخطأ المطلق المعطى بالعلاقة (8) أقل ما يمكن. تم تطبيق هذه الطريقة على نموذج الحلقتين وإجراء بعض التجارب وحصلنا على النتائج المبينة بالجدول (1) التالي:

الجدول (1) قيم العامل q والخطأ المطلق $e_T(\delta_T, \tau)$ الموافق

q	0.15	0.25	0.35	0.45	0.55	0.65	0.75	0.85	0.95
$e_T(\delta_T, \tau)$	0.0268	0.0212	0.0176	0.0156	0.0146	0.0152	0.0168	0.0201	0.0343

نلاحظ من الجدول (1) أن أقل قيمة للخطأ المطلق هي $e_T(\delta_T, \tau) = 0.0146$ الموافقة لـ $q = 0.55$ ، بالتالي بتعويض قيمة q في العلاقة (9)، نحصل على العلاقة التي تعطي AODs α_m^T و AOs α_n^R وفق الطريقة NMMEA:

$$\frac{m-0.55}{M} - \int_{\mu_T - \pi}^{\alpha_m^T} f(\alpha^T) d\alpha^T = 0, m = 1, 2, \dots, M$$

$$\frac{n-0.55}{N} - \int_{\mu_R - \pi}^{\alpha_n^R} f(\alpha^R) d\alpha^R = 0, n = 1, 2, \dots, N$$
(10)

لم يتم التحقق تحليلياً من صحة الطريقة المقترحة بسبب عدم إمكانية الوصول لعلاقات تحليلية توصف المشكلة، لذلك تم فقط التحليل التجريبي اعتماداً على الوصول إلى القيمة الصغرى لتابع الخطأ المطلق $e_T(\delta_T, \tau)$ المعطى بالعلاقة (8).

6-4 طريقة تنظيم Lp المعدلة MLPNM:

تطبق الطريقة المقترحة MLPNM في حالة التبعاثر غير المتجانس حول المرسل والمستقبل. يتم إيجاد معاملات نموذج المحاكاة AOs α_n^R من خلال الوصول إلى القيم الصغرى لكل من التنظيمين المعرفين بالعلاقاتين (4) و (5)، حيث تأخذ الزوايا المتقطعة α_n^R قيمة بدائية باستخدام الطريقة المقترحة NMMEA، يمكن تطبيق الطريقتين MLPNM و NMMEA في تصميم نموذج محاكاة الحلقتين في حالة التبعاثر غير المتجانس.

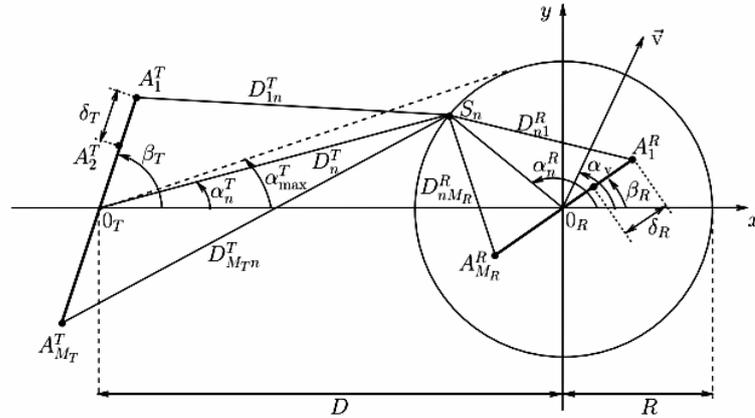
5- نموذج الحلقة الواحدة للقناة MIMO (MIMO One-Ring Channel Model):

يستخدم المبدأ SOS لنمذجة الألفية بمدخل واحد - مخرج واحد (SISO) (Single-Input Single-Output)، لكن الجدير بالذكر أن السيرورات الغوصية التي تصف النموذج المرجعي للألفية SISO ضيقة الحزمة تكون مترابطة زمنياً فقط، بينما تكون مترابطة زمنياً وترددياً بالنسبة لـ SISO عريضة الحزمة، أما من أجل نمذجة ومحاكاة ألفية MIMO علينا أن نصمم سيرورات عشوائية غوصية لها خصائص ترابط ترددية-زمنية- فراغية محددة. يُعتبر نموذج الحلقة الواحدة نموذجاً عشوائياً ملائماً للخفوت Rayleigh في الألفية MIMO ضيقة الحزمة^[22]، حيث يُستخدم

هذا النموذج في البيئات التي تكون فيها BS موجودة وغير مُحاطة بالمبعثرات، بينما يكون MS مُحاطاً بعدد غير منتهي من المبعثرات مُوزَّعة عشوائياً على حلقة مركزها MS. تتمُّ مُقارنة الخصائص الإحصائية ACF و 2D-CCF لنموذج المحاكاة الحتمي والنموذج المرجعي باستخدام الطرق الأربع EMEDS، LPNM، MEMEDS، وMLPNM.

1-5 نموذج الحلقة الواحدة الهندسي:

تَمَّ تقديم نموذج الحلقة الواحدة المُبَيَّن في الشكل (1) [16] لأول مرة في [22] وتَمَّ تطويره في [7,23]. يتكوَّن هذا النموذج من مصفوفات هوائيات خطية عددها M_T عند المرسل BS و M_R عند المستقبل MS. حيث نرمز للتباعدات بين هوائيات المرسل بـ δ_T و δ_R للمستقبل. يحيط بـ MS عدد كبير من المبعثرات S_n ، حيث $(n = 1, 2, \dots, N)$ ، لكن يمكن إهمال ما تساهمه المبعثرات في الاستطاعة المُستقبلة الاجمالية بسبب فقد المسار الكبير، بالتالي يستقبل MS الإشارة من اتجاهات مختلفة مُحدَّدة بتوزيع المبعثرات، أمَّا المبعثرات فهي مُوزَّعة على حلقة مركزها MS نصف قطرها R صغير بالمُقارنة مع المسافة D بين BS و MS. يشير الرمز α_n^T لـ AOD للموجة المُرسلة، بينما يُرمز لـ AOA الموافقة بـ α_n^R ، أمَّا α_{max}^T فهي AOD الأعظمية عند BS المعطاة بالعلاقة $\alpha_{max}^T = \arctan(\frac{R}{D}) \approx \frac{R}{D}$. يُعتبر R و D كبيران جداً بالمُقارنة مع حجم مصفوفات الهوائيات أي $D \gg R \gg \max\{(M_T - 1)\delta_T, (M_R - 1)\delta_R\}$. تُعرَّف زاوية الميلان β_T بأنَّها الزاوية الواقعة بين المحور X ومحور مصفوفة هوائيات BS، بينما تصف الزاوية β_R بشكل مماثل ميلان مصفوفة هوائيات MS. يتحرَّك MS بسرعة v مُحدَّدة بزاوية الحركة α_v كما هو واضح في الشكل (1). يأخذ هذا النموذج بعين الاعتبار المُركبات التي تتبعثر (أو تنعكس) مرة واحدة فقط، كما يفرض النموذج أنَّ جميع المُركبات المُبعثرة تصل إلى MS بنفس الاستطاعة مع إهمال المُركبة LOS بين BS و MS.



الشكل (1) نموذج الحلقة الواحدة الهندسي للقناة MIMO [16]

2-5 نموذج الحلقة الواحدة المرجعي للقناة MIMO:

يفرض النموذج المرجعي عدد المبعثرات المحلية حول المستقبل MS غير منتهي، ندرس للتبسيط النموذج المرجعي للقناة MIMO 2×2 . يُعبَّر عن مطال القناة العقدي $h_{11}(t)$ الذي يصف الوصلة من A_1^T إلى A_1^R بالعلاقة التالية [7]:

$$h_{11}(t) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=1}^N a_n b_n e^{j(2\pi f_n t + \theta_n)} \quad (11)$$

حيث:

$$a_n = e^{j\pi \frac{\delta_T}{\lambda} [\cos(\beta_T) + \alpha_{\max}^T \sin(\beta_T) \sin(\alpha_n^R)]} \quad (12)$$

$$b_n = e^{j\pi \frac{\delta_R}{\lambda} \cos(\alpha_n^R - \beta_R)} \quad (13)$$

$$f_n = f_{\max} \cos(\alpha_n^R - \alpha_v) \quad (14)$$

يشير λ , f_{\max} لطول الموجة وتردد دوبلر الأعظمي على الترتيب، أمّا الأطوار θ_n فهي مُتغيّرات عشوائية تابعة للتوزيع المنتظم على المجال $[0, 2\pi]$. يتمّ الحصول على مطال القناة $h_{22}(t)$ للوصلة من A_2^T إلى A_2^R من العلاقة (11) بإجراء التبديلين $b_n^* \leftarrow b_n, a_n^* \leftarrow a_n$. نحصل بشكل مشابه على المطالات $h_{12}(t), h_{21}(t)$ باستبدال a_n بـ a_n^* و b_n بـ b_n^* على الترتيب. تُمثّل $h_{11}(t)$ سيرورة غوصية عقدية بمتوسط معدوم وتباين يساوي الواحد، بالتالي فإنّ الغلاف $|h_{11}(t)|$ يتبع للتوزيع Rayleigh. نشكّل مصفوفة القناة العقدية $H(t) = [h_{pq}(t)]$ للوصلات من A_q^T إلى A_p^R كما يلي:

$$H(t) = \begin{pmatrix} h_{11}(t) & h_{12}(t) \\ h_{21}(t) & h_{22}(t) \end{pmatrix} \quad (15)$$

حيث تصف المصفوفة $H(t)$ النموذج المرجعي للخفوت Rayleigh في القناة MIMO 2×2 غير انتقائية التردد. تعتمد سعة القناة MIMO على الترابط بين مطالات القناة $h_{pq}(t)$ [23]، لكن للحصول على تابع ترابط التقاطع زمن-فضاء [7,24] نحتاج لمعرفة التوزيع $f(\alpha^R)$ AOA \downarrow α^R ، حيث توجد عدّة توزيعات ممكنة، نذكر منها التوزيع Uniform [23]، Von Mises [24]، Gaussian [25] و Laplacian [26]. تمّ اختيار التوزيع Von Mises في هذا البحث لملاءمته لحالات التبعثر غير المتجانس ويُعطى بالعلاقة التالية [24]:

$$f(\alpha^R) = \frac{1}{2\pi I_0(\kappa)} e^{\kappa \cos(\alpha^R - \mu_R)}, \alpha^R \in [0, 2\pi] \quad (16)$$

حيث $I_0(\cdot)$: تابع Bessel المعدّل من الدرجة صفر، $\mu_R \in [0, 2\pi]$: متوسط التوزيع $f(\alpha^R)$ ، أمّا $0 \leq \kappa$: عامل يتحكّم بعرض الانتثار الزاوي (Angular Spread) AOA \downarrow α^R ويقابل مقلوب التباين بالتوزيع الطبيعي. يُستخدَم التوزيع Von Mises في حالة التبعثر غير المتجانس، حيث يكون الانتثار الزاوي $f(\alpha^R) \approx \frac{2}{\sqrt{\kappa}}$ من أجل قيم كبيرة لـ κ [24]، بينما نحصل على حالة التبعثر المتجانس من أجل $\kappa = 0$ وتكون AOA α^R تابعة للتوزيع Uniform بهذه الحالة أي $f(\alpha^R) = \frac{1}{2\pi}$.

يُعبّر تابع ترابط التقاطع الفضائي ثلاثي الأبعاد (three-dimensional Cross-Correlation Function) (3D-CCF) عن مقياس الترابط في الفضاء والزمن بين قناتين فرعيتين، حيث يقيس الترابط بين ربح الإشارة المُستقبلة وزاوية وصول الإشارة. من المعلوم أنّ الانتشار مُتعدّد المسارات يُخفّض الترابط الفضائي، لأنّ المُركّبات المُبعثرة يتمّ استقبالها من اتجاهات فراغية مختلفة، وبشكل مشابه تُزيد التباعدات الصغيرة بين الهوائيات الترابط الفضائي [27]. يُعطى 3D-CCF لمطالي القناة $h_{11}(t)$ و $h_{22}(t)$ في النظام MIMO 2×2 بالعلاقة [23]:

$$\rho_{11,22}(\delta_T, \delta_R, \tau) = E\{h_{11}(t)h_{22}^*(t + \tau)\} = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N E\{a_{1n}^2 b_{1n}^2 e^{-j2\pi f_n \tau}\} \quad (17)$$

نلاحظ أن 3D-CCF يتعلّق بـ AOA α_n^R ، بما أنّ عدد المبعثرات المحلية غير منتهي ($N \rightarrow \infty$) في النموذج المرجعي، بالتالي من الملائم رياضياً أن نفرض AOA α_n^R متغير عشوائي مستمر α^R له توزيع مُعطى $f(\alpha^R)$ ، لذلك يصبح التابع 3D-CCF كما يلي [16]:

$$\rho_{11,22}(\delta_T, \delta_R, \tau) = \int_{-\pi}^{\pi} a^2(\delta_T, \alpha^R) b^2(\delta_R, \alpha^R) e^{-j2\pi f(\alpha^R)\tau} f(\alpha^R) d\alpha^R \quad (18)$$

حيث:

$$a(\delta_T, \alpha^R) = e^{j\pi \frac{\delta_T}{\lambda} [\cos(\beta_T) + \alpha_{\max}^T \sin(\beta_T) \sin(\alpha^R)]} \quad (19)$$

$$b(\delta_R, \alpha^R) = e^{j\pi \frac{\delta_R}{\lambda} \cos(\alpha^R - \beta_R)} \quad (20)$$

$$f(\alpha^R) = f_{\max} \cos(\alpha^R - \alpha_v) \quad (21)$$

يعبّر ACF عن سرعة تغيّر القناة مع الزمن، حيث يكون ACF عالي جداً لفترة زمنية طويلة في حال كانت القناة ثابتة عند مستوى مُعيّن، بالتالي نقول بهذه الحالة أنّ القناة لم تتعرّض للخفوت. يُعبّر الترابط الذاتي مهماً جداً في تخمين جودة الاتصال [27]. يُعطى ACF لمطال القناة العقدية $h_{pq}(t)$ بالعلاقة التالية [16]:

$$r_{h_{pq}}(\tau) = E\{h_{pq}(t)h_{pq}^*(t+\tau)\} = \int_{-\pi}^{\pi} e^{-j2\pi f_{\max} \cos(\alpha^R - \alpha_v)\tau} f(\alpha^R) d\alpha^R \quad (22)$$

نلاحظ أنّ جميع مطالات القناة العقدية $h_{pq}(t)$ المُستخدمة لنموذج الوصلة من A_q^T إلى A_p^R ، يتمّ توصيفها بنفس التابع ACF $r_{h_{pq}}(\tau)$ لأنّه مستقل عن p, q ، كما نلاحظ أنّ ACF يساوي التابع 3D-CCF $\rho_{11,22}(\delta_T, \delta_R, \tau)$ عندما $\delta_T = \delta_R = 0$ أي أنّ $r_{h_{pq}}(\tau) = \rho_{11,22}(0, 0, \tau)$. يُعطى التابع 2D-CCF بالعلاقة التالية [16]:

$$\rho(\delta_T, \delta_R) = E\{h_{11}(t)h_{22}^*(t)\} = \int_{-\pi}^{\pi} a^2(\delta_T, \alpha^R) b^2(\delta_R, \alpha^R) f(\alpha^R) d\alpha^R \quad (23)$$

بمُقارنة العلاقاتين (18) و(23) نجد $\rho(\delta_T, \delta_R) = \rho_{11,22}(\delta_T, \delta_R, 0)$. نقول أخيراً أنّ النموذج المرجعي الموصوف أعلاه غير قابل للتطبيق طالما أنّ عدد المبعثرات N غير منتهي.

3-5 نموذج محاكاة الحلقة الواحدة للقناة MIMO:

يتمّ الحصول على نموذج المحاكاة من النموذج المرجعي بأخذ عدد منتهي من المبعثرات S_n حول MS. كما نعتبر الأطوار θ_n ثابتة بحيث يتمّ توليدها من مولد عشوائي له التوزيع Uniform على المجال $[0, 2\pi]$ ، بالتالي تصبح مصفوفة القناة $H^0(t) = [h_{pq}^0(t)]$ حتمية وتابعة للزمن. تُعطى مطالات القناة الحتمية العقدية $h_{pq}^0(t)$ وفق العلاقة التالية [16]:

$$h_{pq}^0(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=1}^N a_n b_n e^{j(2\pi f_n t + \theta_n)} \quad (24)$$

حيث تُعطى المعاملات a_n, b_n, f_n بالعلاقات (19) و(20) و(21) على الترتيب. ينبغي إيجاد AOA α_n^R بحيث تكون الخصائص الإحصائية لنموذج المحاكاة قريبة بشكل كافي من تلك بالنسبة للنموذج المرجعي. يتمّ دراسة

الخصائص الإحصائية لنموذج محاكاة القناة MIMO الحتمية باستخدام المتوسطات الزمنية بدلاً من المعدلات الإحصائية، حيث يُعطى التابع 3D-CCF الزمني-الفضائي للقناتين الفرعيتين $h_{11}^{0\%}(t)$ و $h_{22}^{0\%}(t)$ بالعلاقة التالية^[16]:

$$\rho_{h_{1,22}}^{0\%}(\delta_T, \delta_R, \tau) = \left\langle h_{11}^{0\%}(t) h_{22}^{0\%}(t + \tau) \right\rangle = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N a_n^2 b_n^2 e^{-j 2\pi f_n \tau} \quad (25)$$

أما التابع ACF الزمني للسيرورة الحتمية $h_{pq}^{0\%}(t)$ فيُعطى كما يلي^[16]:

$$\rho_{h_{pq}}^{0\%}(\tau) = \left\langle h_{pq}^{0\%}(t) h_{pq}^{0\%}(t + \tau) \right\rangle = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N e^{-j 2\pi f_{\max} \cos(\alpha_n^R - \alpha_v) \tau} \quad (26)$$

يُعطى التابع 2D-CCF الفضائي لنموذج المحاكاة الحتمي بالعلاقة التالية^[16]:

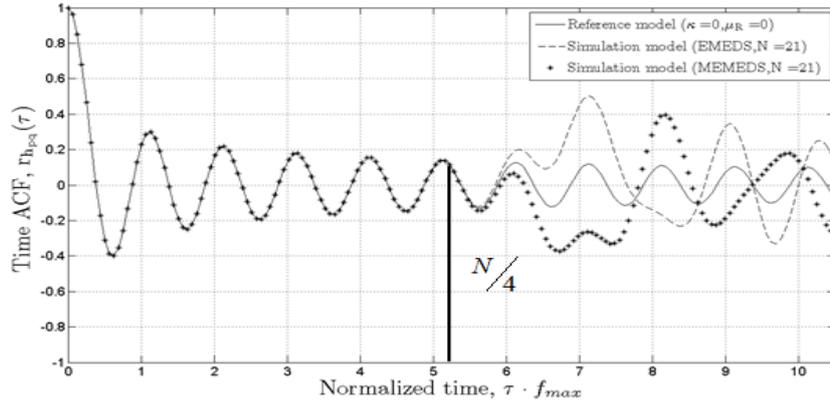
$$\rho_{h_{11,22}}^{0\%}(\delta_T, \delta_R) = \left\langle h_{11}^{0\%}(t) h_{22}^{0\%}(t) \right\rangle = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N e^{j 2\pi \left\{ \frac{\delta_T}{\lambda} [\cos(\beta_T) + \alpha_{\max}^T \sin(\beta_T) \sin(\alpha_n^R)] + \frac{\delta_R}{\lambda} \cos(\alpha_n^R - \beta_R) \right\}} \quad (27)$$

4-5 تقييم أداء نموذج محاكاة الحلقة الواحدة:

تمَّ استخدام الطريقتين EMEDS و MEMEDS لتصميم نموذج محاكاة الحلقة الواحدة في حالة التبعر المتجانس، بينما تمَّ استخدام الطريقتين LPNM و MLPNM من أجل حالة التبعر غير المتجانس.

1-4-5 التبعر المتجانس (Isotropic Scattering):

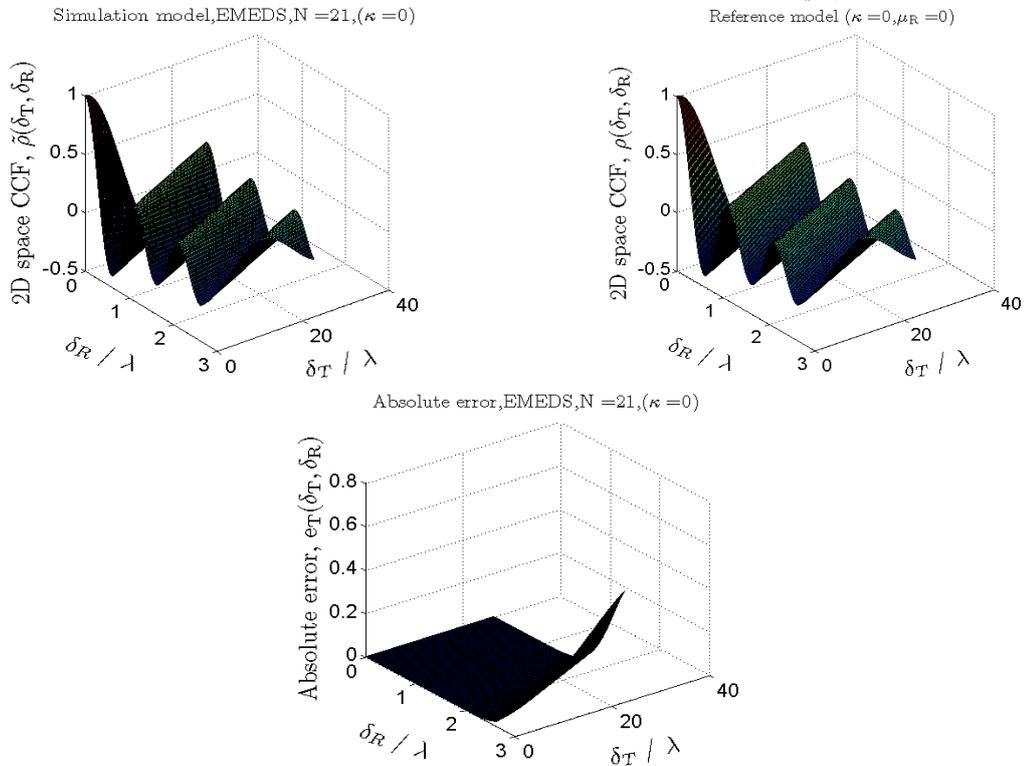
تتبع معاملات النموذج المرجعي AOAs α^R للتوزيع Uniform أي $\kappa = 0$ و $f(\alpha^R) = \frac{1}{2\pi}$ في حالة التبعر المتجانس. نفرض أن كلاً من هوائيات المرسل BS والمستقبل MS متعامدة مع المحور X أي $\beta_T = \beta_R = 90^\circ$ ، أما المستقبل MS يتحرك باتجاه المرسل BS، أي $\alpha_v = 180^\circ$ بسرعة قدرها $v = 109 [km/h]$ موافقة لتردد دوبلري أعظمي قيمته $f_{\max} = 91 [Hz]$ ، حيث $f_{\max} = (v/c) f_{\text{carrier}}$ ، سرعة الضوء $c = 3 \times 10^8 [m/s]$ وتردد الحامل $f_{\text{carrier}} = 900 [MHz]$. نفرض القيمة الأعظمية لـ AOD $\alpha_{\max}^T = 2^\circ$. يُعطى التابع ACF للنموذج المرجعي بحالة التبعر المتجانس بالعلاقة $r_{h_{pq}}(\tau) = J_0(2\pi f_{\max} \tau)$. تُستخدم الطريقتين EMEDS و MEMEDS من أجل تصميم نموذج محاكاة الحلقة الواحدة بحالة التبعر المتجانس، كما يتم مقارنة الخصائص الإحصائية ACFs و 2D-CCFs للنموذجين المرجعي والمحاكاة من أجل تقييم أداء طرق المحاكاة. يُبين الشكل (2) التوابع ACFs للنموذجين المرجعي والمحاكاة باستخدام الطريقتين EMEDS و MEMEDS من أجل عدد المبعثرات حول $N = 21$. نلاحظ أن التقريب $r_{h_{pq}}(\tau) \approx \rho_{h_{pq}}^{0\%}(\tau)$ يكون ممتازاً ضمن المجال $[0, \tau_{\max}]$ ، حيث $\tau_{\max} = N/4f_{\max}$ ، بالتالي بزيادة عدد المبعثرات حول المستقبل MS نحصل على مُلاءمة أفضل بين النموذجين المرجعي والمحاكاة في حالة التبعر المتجانس.



الشكل (2) مقارنة ACFs للنموذجين المرجعي والمحاكاة باستخدام الطريقتين EMEDS و MEMEDS

في حالة التبعر المتجانس ($\kappa = 0, \mu_R = 0^\circ, N = 21$)

يمكن أيضاً دراسة سلوك 2D-CCFs للنموذجين المرجعي والمحاكاة باستخدام الطريقتين EMEDS و MEMEDS. حيث يُبين الشكلين (3) و(4) مقارنة 2D-CCFs للنموذجين المرجعي والمحاكاة من أجل الطريقتين EMEDS و MEMEDS. تم أيضاً رسم تابع الخطأ المطلق المُعرّف بالعلاقة $e_T(\delta_T, \delta_R) = |\rho_T(\delta_T, \delta_R) - \hat{\rho}(\delta_T, \delta_R)|$ في هذين الشكلين من أجل مقارنة أداء هاتين الطريقتين. لوحظ تفوق الطريقة MEMEDS على EMEDS، لأنها تعطي خطأ مُطلقاً تقترب قيمته من الصفر من أجل عدد المبعثرات $N = 21$ ، بينما تكون قيمة الخطأ المطلق قريبة من الصفر من أجل $N = 30$ عند تطبيق الطريقة EMEDS. بالتالي يمكن القول أن الطريقة المُقترحة MEMEDS خَفَضَت التعقيد الحسابي بنسبة 30%، أخيراً نقول يقترب نموذج المحاكاة بخصائصه الإحصائية الفضائية من تلك بالنسبة للنموذج المرجعي بشكل أكبر من أجل الطريقة المُقترحة MEMEDS بالمقارنة مع الطريقة EMEDS عند القيمة $N = 21$ كما هو واضح في الشكلين (3) و(4).

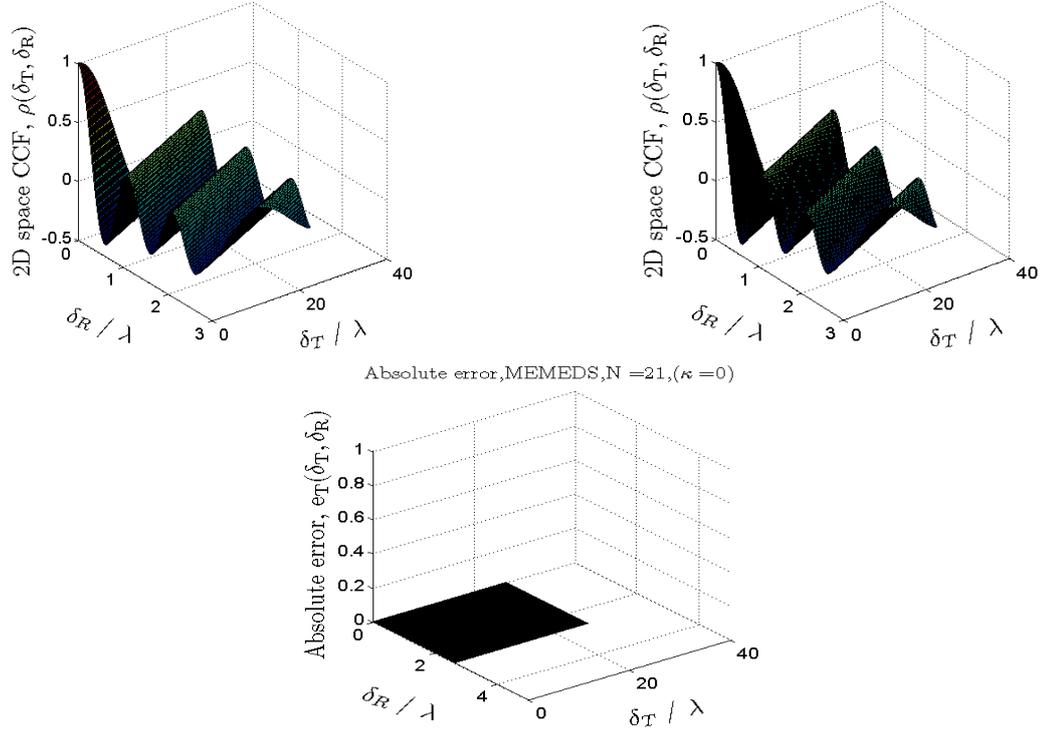


الشكل (3) مقارنة 2D-CCFs للنموذجين المرجعي والمحاكاة باستخدام الطريقة EMEDS

في حالة التبعثر المتجانس ($N = 21, \kappa = 0, \mu_R = 0^\circ, \beta_T = \beta_R = 90^\circ, \alpha_{\max}^T = 2^\circ, \alpha_v = 180^\circ$)

Simulation model, MEMEDS, $N = 21, (\kappa = 0, \mu_R = 0)$

Reference model ($\kappa = 0, \mu_R = 0$)

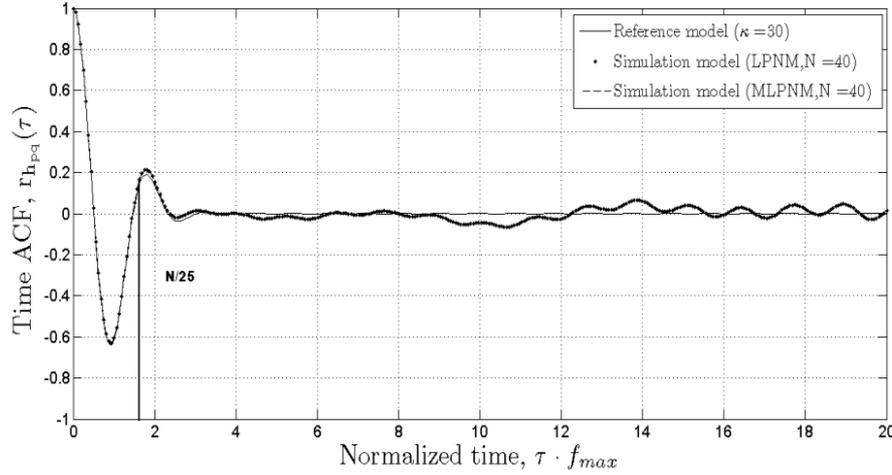


الشكل (4) مقارنة 2D-CCFs للنموذجين المرجعي والمحاكاة باستخدام الطريقة MEMEDS

في حالة التبعثر المتجانس ($N = 21, \kappa = 0, \mu_R = 0^\circ, \beta_T = \beta_R = 90^\circ, \alpha_{\max}^T = 2^\circ, \alpha_v = 180^\circ$)

2-4-5 التبعثر غير المتجانس (Non-Isotropic Scattering):

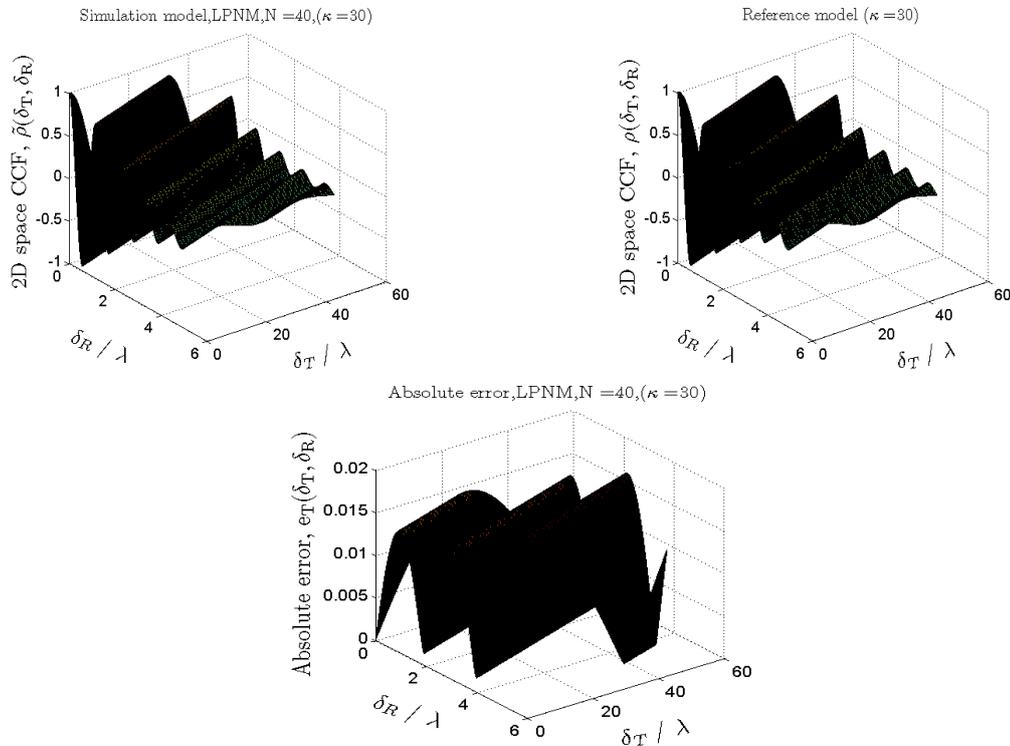
لا يمكن تطبيق الطريقتين EMEDS و MEMEDS في حالة التبعثر غير المتجانس، لذلك نلجأ للطريقتين LPNM و MLPNM لتصميم نموذج محاكاة الحلقة الواحدة، حيث تكون الزوايا AOAs α^R للنموذج المرجعي موزعة وفق Von Mises، لذلك نختار $\mu_R = 60^\circ, \kappa = 30$ ، كما تم اختيار نفس قيم معاملات النموذج المرجعي $\beta_T = \beta_R = 90^\circ, \alpha_v = 180^\circ, \alpha_{\max}^T = 2^\circ, f_{\max} = 91 [Hz]$. يُبين الشكل (5) ACFs للنموذجين المرجعي والمحاكاة من أجل الطريقتين LPNM و MLPNM مع $N = 40, p = 2$ ، حيث يُلاحظ من الشكل (5) أن ACFs تكون قريبة من بعضها البعض ضمن المجال $[0, \tau_{\max}]$ ، حيث $\tau_{\max} = N / 25f_{\max}$ ، بالتالي بزيادة عدد المبعثرات N حول المستقبل MS، نحصل على ملاءمة أفضل بين النموذجين المرجعي والمحاكاة بالنسبة لـ ACF.



الشكل (5) مقارنة ACFs للنموذجين المرجعي والمحاكاة باستخدام الطريقتين LPNM وMLPNM

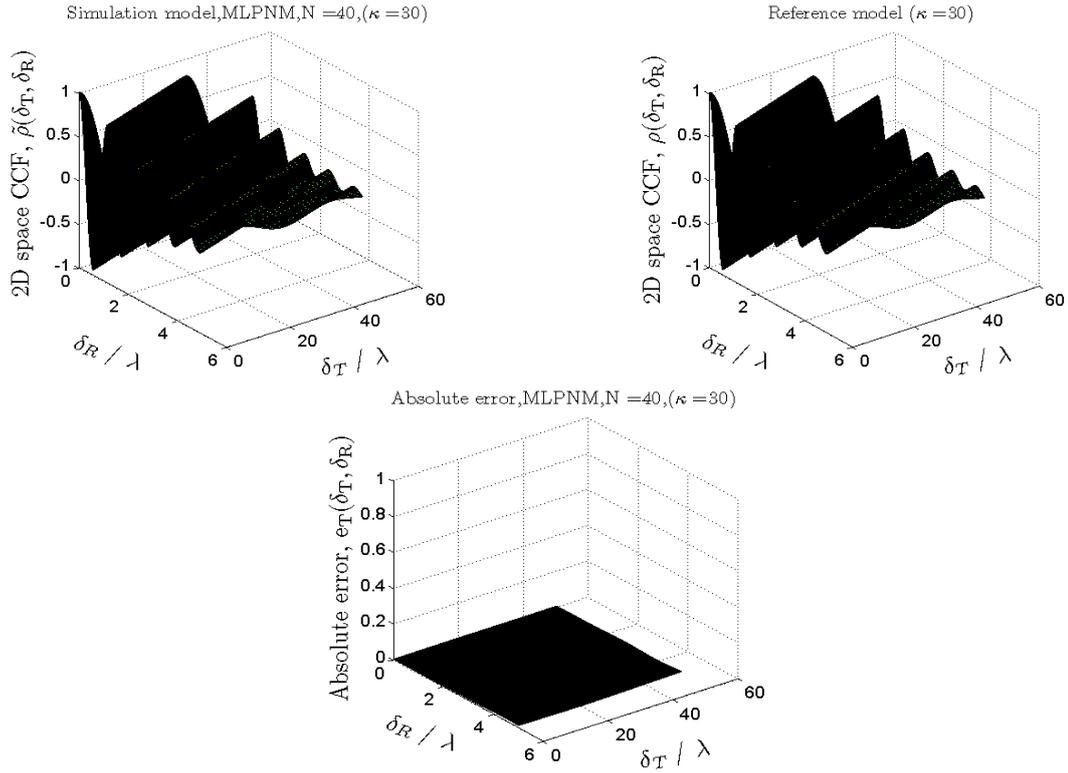
في حالة التبعثر غير المتجانس ($\kappa = 30, \mu_R = 60^\circ, N = 40$)

يُبين الشكلين (6) و(7) سلوك 2D-CCFs للنموذجين المرجعي والمحاكاة باستخدام الطريقتين LPNM وMLPNM على الترتيب، كما تمّ رسم التابع $e_T(\delta_T, \delta_R)$ في الشكلين (6) و(7) من أجل مقارنة النموذجين المرجعي والمحاكاة. نلاحظ من الشكل (6) أنّ تابع الخطأ المُطلق له سلوك مُتعرّج من أجل الطريقة LPNM وأعلى قيمة له هي $\max\{e_T(\delta_T, \delta_R)\} = 0.019$ ، بينما ينعدم تابع الخطأ المُطلق من أجل الطريقة MLPNM كما هو مُبيّن بالشكل (7). بمُقارنة الشكلين (6) و(7) نلاحظ أنّ كلتا الطريقتين LPNM وMLPNM تعطيان نفس الأداء بالنسبة لخصائص الترابط الزمنية، في حين تتفوّق الطريقة المُقترحة MLPNM على الطريقة LPNM من أجل خصائص الترابط الفضائية.



الشكل (6) مقارنة 2D-CCFs للنموذجين المرجعي والمحاكاة باستخدام الطريقة LPNM

في حالة التبعثر غير المتجانس ($N = 40, \kappa = 30, \mu_R = 60^\circ, \beta_T = \beta_R = 90^\circ, \alpha_{\max}^T = 2^\circ, \alpha_v = 180^\circ$)



الشكل (7) مُقارنة 2D-CCFs للنموذجين المرجعي والمحاكاة باستخدام الطريقة MLPNM في حالة التبعثر غير المتجانس ($N = 40, \kappa = 30, \mu_R = 60^\circ, \beta_T = \beta_R = 90^\circ, \alpha_{\max}^T = 2^\circ, \alpha_v = 180^\circ$) يبيّن الجدول (2) مقارنة الطرق المستخدمة لنمذجة الألفية MIMO من أجل نموذج الحلقة الواحدة. الجدول (2) مقارنة الطرق المستخدمة لنمذجة الألفية MIMO من أجل نموذج الحلقة الواحدة

الطريقة	ACF	مجال الملاءمة	2D-CCF	الخطأ المُطلق $e_T(\delta_T, \delta_R)$
EMEDS MEMEDS	ملاءمة ممتازة ضمن مجال الملاءمة	$[0, \tau_{\max}]$ $\tau_{\max} = N/4f_{\max}$	تفوق MEMEDS على EMEDS	$e_T(\delta_T, \delta_R) = 0, N = 21$
LPNM MLPNM	ملاءمة ممتازة ضمن مجال الملاءمة	$[0, \tau_{\max}]$ $\tau_{\max} = N/25f_{\max}$	تفوق MLPNM على LPNM	$N = 40$ $e_T(\delta_T, \delta_R) = 0.019, LPNM$ $e_T(\delta_T, \delta_R) = 0.0, MLPNM$

6- الخلاصة:

تمّ في هذا البحث دراسة طرق نمذجة ومحاكاة الألفية MIMO ضمن حالي التبعثر المتجانس وغير المتجانس من أجل نموذج الحلقة الواحدة، حيث تمّ بهذا السياق اقتراح ثلاثة طرق جديدة لنمذجة الألفية MIMO هي طريقة انتشار دوبلر الدقيق الموسّعة المُعدّلة MEMEDS، طريقة المساحات المتساوية المُعدّلة الجديدة NMMEA وطريقة تنظيم Lp المُعدّلة MLPNM. تمّ مقارنة أداء كل طريقة مُقترحة مع الطريقة الأصلية بمُقارنة الخصائص الإحصائية ACF، الترابط الزمنية والفضائية لنموذج المحاكاة، حيث بيّنت النتائج تفوق الطرق المقترحة في تحسين أداء خصائص

المستخدمة في نمذجة الأقفنية MIMO، بحيث تمّ الحصول على نماذج محاكاة للأقفنية بدقة وكفاءة عالية عن طريق تحسين أداء الخصائص الإحصائية لنموذج المحاكاة.

6- التوصيات:

يجب إجراء قياسات حقلية للتأكد من نتائج المحاكاة موضوع البحث، حيث لم يتسنى لنا إجراء مقارنة لأداء هذه الطرق مع قياسات تجريبية للقناة، كما يمكن دراسة نماذج أخرى للأقفنية MIMO M2M، التي تأخذ بعين الاعتبار التغير السريع لموضع المرسل والمستقبل وحركة المبعثرات بينهما. أخيراً يجب التنويه أنه لمواكبة التطورات السريعة لأنظمة الاتصالات، لا بُدّ من البحث في نمذجة الأقفنية بشكل دائم، بالتالي هناك الكثير من المواضيع والمشاكل البحثية المتعلقة بنمذجة الأقفنية وهي جديرة بالاهتمام والبحث.

7- قائمة المراجع:

- [1] Poutanen J. 2011. Geometry-Based Radio Channel Modeling: Propagation Analysis and Concept Developmen. Doctoral Dissertation. Department of Radio Science and Engineering, Aalto University.
- [2] J. Maurer, T. Fugen, M. Porebska, T. Zwick, and W. Wisebeck, "A ray-optical channel model for mobile to mobile communications," COST 2100 4th MCM, COST 2100 TD(08) 430, Wroclaw, Poland, Feb. 2008.
- [3] G. Acosta and M. A. Ingram, "Six time- and frequency-selective empirical channel models for vehicular wireless LANs," IEEE Veh. Technol. Mag., vol. 2, no. 4, pp. 4–11, Dec. 2007.
- [4] A. S. Akki and F. Haber, "A statistical model for mobile-to-mobile land communication channel," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 35, no. 1, pp. 2–10, Feb. 1986.
- [5] A. S. Akki, "Statistical properties of mobile-to-mobile land communication channels," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 43, no. 4, pp. 826–831, Nov. 1994.
- [6] A. G. Zajic and G. L. Stuber, "Space-time correlated mobile-to-mobile channels: modeling and simulation," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 57, no. 2, pp. 715–726, Mar. 2008.
- [7] M. Pätzold and B. O. Hogstad, "A space-time channel simulator for MIMO channels based on the geometrical one-ring scattering model," Wireless Communications and Mobile Computing, Special Issue on Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) Communications, vol. 4, no. 7, pp. 727–737, Nov. 2004.
- [8] G. J. Byers and F. Takawira, "The influence of spatial and temporal correlation on the capacity of MIMO channels," in Wireless Communications and Networking Conference, WCNC 2003, March 2003, pp. 359–364.
- [9] M. Pätzold, B. O. Hogstad, and N. Youssef, "Modeling, analysis, and simulation of MIMO mobile-to-mobile fading channels," IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 7, no. 2, pp. 510–520, Feb. 2008.

- [10] M. Pätzold and B. O. Hogstad, "A wideband MIMO channel model derived from the geometrical elliptical scattering model," *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 8, pp. 597–605, May 2008.
- [11] A. F. Molisch, "A generic model for MIMO wireless propagation channels in macro- and microcells," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 51, no. 1, pp. 61–71, Jan. 2004.
- [12] X. Cheng, C.-X. Wang, D. I. Laurenson, S. Salous, and A. V. Vasilakos, "An adaptive geometry-based stochastic model for non-isotropic MIMO mobile-to-mobile channels," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 8, no. 9, pp. 4824–4835, Sept. 2009.
- [13] M. Pätzold and N. Youssef, "Modeling and simulation of direction-selective and frequency-selective mobile radio channels," *International Journal of Electronics and Communications, AEUE*, vol. 55, no. 6, pp. 433–442, Nov. 2001.
- [14] B. O. Hogstad, M. Pätzold, N. Youssef, and D. Kim, "A MIMO mobile-to-mobile channel model: part II—the simulation model," in *Proceedings of the 16th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC '05)*, pp. 562–567, Berlin, Germany, September 2005.
- [15] M. Pätzold, U. Killat, F. Laue, and Y. Li, "On the statistical properties of deterministic simulation models for mobile fading channels," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 47, no. 1, pp. 254–269, 1998.
- [16] Matthias Pätzold. *MOBILE RADIO CHANNELS*, John Wiley & Sons, 2012.
- [17] C. A. Gutierrez-Diaz-De-Leon and M. Pätzold, "Sum-of- sinusoids-based simulation of flat fading wireless propagation channels under non-isotropic scattering conditions," in *Proceedings of the 50th Annual IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM '07)*, pp. 3842–3846, Washington, DC, USA, November 2007.
- [18] C. A. Gutierrez-Diaz-De-Leon and M. Pätzold, "Efficient sum of-sinusoids-based simulation of mobile fading channels with asymmetrical Doppler power spectra," in *Proceedings of the 4th IEEE International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS '07)*, pp. 246–251, Trondheim, Norway, October 2007.
- [19] M. Pätzold, U. Killat, and F. Laue, "A deterministic digital simulation model for Suzuki processes with application to a shadowed Rayleigh land mobile radio channel," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 45, no. 2, pp. 318–331, May 1996.
- [20] Omar Alzoubi, Mohieldin Wainakh "Improve the Performance of Statistical Properties for Deterministic Channel Simulators", *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, V34(5), 224-229 April 2016. ISSN:2231-5381. www.ijettjournal.org. published by seventh sense research group.

- [21] O. Alzoubi and M. Wainakh, "Improving the Performance of Fading Channel Simulators Using New Parameterization Method," International Journal of Electronics and Electrical Engineering (IJEEE), Vol. 4, No. 5, 443-448 October 2016. www.ijeee.net. published by Int. J. Electron. Electr. Eng.
- [22] D.-S. Shiu, G. J. Foschini, M. J. Gans, and J. M. Kahn, "Fading correlation and its effect on the capacity of multielement antenna systems," IEEE Trans. Commun., vol. 48, no. 3, pp. 502–513, March 2000.
- [23] A. Abdi and M. Kaveh, "A space-time correlation model for multielement antenna systems in mobile fading channels," IEEE J. Select. Areas Commun., vol. 20, no. 3, pp. 550–560, April 2002.
- [24] A. Abdi, J. A. Barger, and M. Kaveh, "A parametric model for the distribution of the angle of arrival and the associated correlation function and power spectrum at the mobile station," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 51, no. 3, pp. 425–434, May 2002.
- [25] U. Martin, "A directional radio channel model for densely built-up urban areas," in Proc. 2nd European Personal Mobile Radio Conference/3rd ITG-Fachtagung Mobile Kommunikation, Bonn, Germany, 1997, pp. 237–244.
- [26] L. M. Correia, Ed., Wireless Flexible Personalized Communications. Chichester, England: John Wiley & Sons, 2001.
- [27] A. G. Zajic, Mobile-to-Mobile Wireless Channels. Artech House, Boston MA, January 2013.