

## Channel correlation effect in Weibull-Gamma model on antenna selection algorithm performance in STBC MIMO system

Dr. Ghadir MADI\*

(Received 15 / 10 / 2017. Accepted 26 / 12 / 2017)

### □ ABSTRACT □

Multiple antennas systems MIMO have proven their ability to improve the performance of wireless communication in terms of increasing data rate and reducing bit error rate, making it a key technique of existing and future communications systems. The antenna selection algorithm in MIMO systems permits to select a subset of the antennas available at the transmitter depending on a certain criteria. This has contributed to the deployment of space time block code STBC in MIMO systems which have more than two antennas at the transmitter.

The antenna selection algorithm performance is influenced by the model and characteristics of the MIMO wireless communication channel. Therefore, this research deals with the effect of channel correlation on the performance of the antenna selection algorithm in MIMO STBC system assuming the Weibull-Gamma channel model recently proposed in scientific researches. The results showed the efficiency of application of the antenna selection algorithm in MIMO STBC system. It also showed that the antenna selection algorithm could work well within a certain domain of the Weibull-Gamma channel correlation factor.

**Keywords:** Multiple antenna systems, Antenna selection, Wireless channel modeling, Channel correlation.

---

\*Assistant Professor, Department of Communication and Electronics, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

## تأثير ترابط القناة في النموذج Weibull-Gamma على أداء خوارزمية اختيار الهوائيات في النظام MIMO STBC

د. غدير ماضي\*

(تاريخ الإيداع 15 / 10 / 2017. قُبِلَ للنشر في 26 / 12 / 2017)

### □ ملخص □

أثبتت أنظمة الهوائيات المتعددة (MIMO) قدرة على تحسين أداء الاتصال اللاسلكي من حيث زيادة معدل الإرسال وتخفيض معدل الخطأ، مما جعلها ركيزة أساسية لأنظمة الاتصالات الحالية والمستقبلية. تسمح خوارزمية اختيار الهوائيات في أنظمة MIMO باختيار مجموعة جزئية من الهوائيات المتوفرة في المرسل وذلك تبعاً لمعيار محدد، الأمر الذي ساهم بانتشار تقنية الترميز المكاني الزمني STBC بشكل واسع في هذه الأنظمة التي تحوي أكثر من هوائيين في المرسل.

يتأثر أداء خوارزمية اختيار الهوائيات بنموذج وخصائص قناة الاتصال اللاسلكية للنظام. لذلك يتناول هذا البحث مسألة تأثير ترابط القناة على أداء خوارزمية اختيار الهوائيات للنظام MIMO STBC بافتراض نموذج القناة المسمى Weibull-Gamma المقترح حديثاً في الأبحاث العلمية. أظهرت النتائج فعالية تطبيق خوارزمية اختيار الهوائيات ضمن النظام MIMO STBC من جهة، ومن جهة أخرى إمكانية عمل خوارزمية اختيار الهوائيات بشكل جيد ضمن مجال معين لعامل ترابط القناة Weibull-Gamma.

**الكلمات المفتاحية:** أنظمة الهوائيات المتعددة، اختيار الهوائيات، نمذجة القناة اللاسلكية، ترابط القناة.

\* مدرس - قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية

## مقدمة:

تعد حاليا أنظمة الهوائيات متعددة المداخل والمخارج MIMO من التقنيات الرئيسة في عالم الاتصالات اللاسلكية. حيث اعتمدت العديد من معايير الاتصالات الخلوية الحديثة كالجيل الرابع (4G) والجيل الخامس (5G) هذه الأنظمة لميزاتها العديدة من ربح التنوع Diversity Gain، وريح التنضيد المكاني Spatial Multiplexing Gain التي تسمح بزيادة معدلات نقل المعطيات وتحسين وثوقية الإرسال والكفاءة الطيفية [1,2]. يعتبر نظام الترميز المكاني الزمني (STBC) Space Time Block Code من التقنيات المنتشرة بكثرة في أنظمة MIMO لما يحقق من ربح تنوع أعظمي وتبسيط في أنظمة الكشف في المستقبل، الأمر الذي يؤدي لتخفيض معدل خطأ البت و تخفيض تعقيد دارة الاستقبال [3,4].

بالمقابل، لا يحقق نظام STBC المزايا السابقة إلا باستخدام هوائيين فقط في الإرسال وفي حال وجود أكثر من هوائيين في الإرسال تطبق خوارزمية اختيار الهوائيات Antenna Selection لاختيار أفضل هوائيين للإرسال وفق نظام STBC [5]. تقوم هذه الخوارزمية باختيار أفضل هوائيين للإرسال وفقا لمعيار محدد وبالاعتماد على معلومات حالة قناة الاتصال (CSI) Channel State Information. يلعب إذا نموذج قناة الاتصال وخصائصها دورا مهما في تقييم أداء خوارزمية اختيار الهوائيات لأنظمة MIMO STBC، ومن هنا نجد الكثير من الأبحاث التي درست تأثير قناة الاتصال على أداء هذه الأنظمة مع تطبيق خوارزمية اختيار الهوائيات [6,7,8,9]. افترضت معظم الأبحاث ومنها الأبحاث السابقة قناة اتصال ذات خفوت Rayleigh لنمذجة قناة الاتصال ومن ثم دراسة خوارزمية اختيار الهوائيات، كما قامت العديد من الأبحاث بدراسة أثر ترابط القناة Channel Correlation بافتراض نموذج Rayleigh على أداء خوارزمية اختيار الهوائيات. حيث يمثل ترابط القناة من الأسباب التي تؤدي لتخفيض أداء أنظمة MIMO بشكل عام [10,11,12,13].

تناولت بعض الأبحاث مؤخرا نمودجا مختلفا لقناة الاتصال يعتمد على نمذجة الخفوت باستخدام توزيع Weibull-Gamma، وبينت النتائج أن قناة Weibull-Gamma fading channel تحاكي بشكل جيد ظروف الانتشار الحقيقية للإشارة سواء داخل الأبنية أو خارجها كما تأخذ بعين الاعتبار تأثير ظاهرة الحجب Shadowing خلافا لنموذج Rayleigh [14,15,16]. انطلاقا من تأثير نموذج قناة الاتصال على أداء خوارزمية اختيار الهوائيات، قامت العديد من الدراسات بافتراض النموذج السابق لقناة الاتصال في تحليل أداء خوارزمية اختيار الهوائيات لأنظمة الهوائيات المتعددة وبينت النتائج أهمية هذا النموذج لمحاكاة أنظمة MIMO [17,18]. من جهة أخرى، لا تزال هناك بعض المسائل البحثية في هذا المجال لم تدرس بشكل كامل ومنها مسألة تأثير ترابط القناة على أداء خوارزمية اختيار الهوائيات بافتراض قناة Weibull-Gamma fading channel وهذا هو محور بحثنا الحالي.

## أهمية البحث وأهدافه:

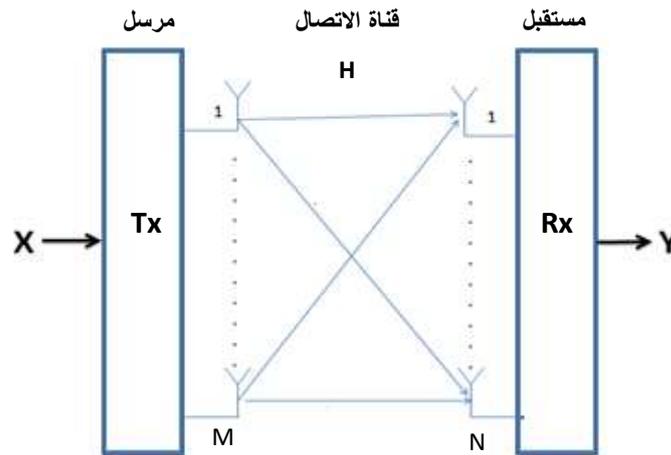
تعتمد أنظمة MIMO STBC على خوارزمية اختيار الهوائيات في الإرسال لتحقيق ربح التنوع الأعظمي وتخفيض معدل خطأ البت (BER) Bit Error Rate في الإشارة المستقبلية. تتعلق قدرة الخوارزمية على اختيار أفضل الهوائيات الممكنة بخصائص قناة الاتصال والنموذج المعتمد، بالإضافة لوجود ترابط القناة [8,12].

لذلك يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير ترابط القناة على أداء خوارزمية اختيار الهوائيات في أنظمة MIMO STBC من حيث معدل خطأ البت (BER) وبافتراض نموذج القناة Weibull-Gamma fading channel المستخدم مؤخراً في الدراسات العلمية.

### طرائق البحث ومواده:

#### 1- نظام الهوائيات متعدد المداخل والمخارج MIMO:

يتم الحصول على نظام الهوائيات المتعددة MIMO بوضع عدة هوائيات في الإرسال والاستقبال مفصولة بمسافات محددة عن بعضها كما هو مبين بالشكل (1) بغية الحصول على التنوع المكاني Space Diversity الذي يحسن من معدل خطأ البت في البيئات عالية التبعثر مقارنة بأنظمة الهوائيات ذات المدخل والمخرج الوحيد (SISO) Single Input Single Output [1]. كما تسمح أنظمة MIMO بزيادة معدل نقل المعطيات، من خلال استغلال المسارات المتعددة المستقلة بين المرسل والمستقبل، ومنه زيادة عدد تدفقات المعطيات التي يمكن إرسالها بنفس اللحظة [19]. لذلك تمثل أنظمة MIMO أساساً لمعظم معايير الاتصالات اللاسلكية الحديثة مثل LTE [20,21] IEEE 802.11ac, Advanced, 5G.



الشكل (1): نظام الاتصال اللاسلكي MIMO

يمثل النظام MIMO بالمعادلة الرياضية الآتية حيث أن عدد هوائيات الإرسال  $M$  وعدد هوائيات الاستقبال  $N$  [1]:

$$Y = H \cdot X + n \quad (1)$$

شعاع الإشارة المستقبلية حيث يشير الرمز  $T$  للمنقول.  $Y = [Y_1, Y_2, \dots, Y_N]^T$

شعاع الإشارة المرسلية.  $X = [X_1, X_2, \dots, X_M]^T$

شعاع الضجيج الأبيض الغوسي الجمعي (AWGN) Additive White Gaussian Noise المضاف عند كل هوائي مستقبل.  $n = [n_1, n_2, \dots, n_N]^T$

تمثل  $H$  مصفوفة قناة الاتصال للنظام MIMO وتحوي الاستجابات النبضية Impulse Response للقناة بين المرسل والمستقبل وتأخذ الشكل الآتي [1]:

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & \cdots & h_{1M} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{N1} & \cdots & h_{NM} \end{bmatrix} \quad (2)$$

يعبر  $h_{ij}$  عن قناة الاتصال بين هوائي الإرسال  $i$  وهوائي الاستقبال  $j$ .

#### - نموذج قناة الاتصال:

تتشكل قناة الاتصال في النظام MIMO من تجمع عدة قنوات SISO تصل بين كل زوج هوائيات (مرسل - مستقبل)، والتي تعتبر كل منها قناة لاسلكية متعددة المسارات Wireless Multipath Channel. تتمذج رياضياً باستخدام مفهوم الاستجابة النبضية Impulse Response و يرمز لها بالرمز  $h_{ij}$  الذي يمثل متغيراً عشوائياً يتبع توزيعاً احتمالياً معيناً كتوزيع ريليه Rayleigh distribution و توزيع رايس Rice distribution. يستخدم نموذج رايس في حالة وجود خط نظر مباشر Line of sight بين المرسل والمستقبل أما بالحالة العامة عند عدم وجود خط نظر مباشر فيستخدم نموذج ريليه [1]. من التوزيعات الأخرى المستخدمة مؤخراً لنمذجة قناة الاتصال في أنظمة اتصالات لاسلكية مختلفة هو توزيع Weibull-Gamma. أثبت هذا النموذج تجريبياً ونظرياً قدرته على نمذجة مختلف درجات الخوفات الممكنة مواءمتها عملياً خلال قناة الاتصال بالإضافة لتأثير ظاهرة الحجب على الإشارة المرسل، الأمر الذي لم يكن ممكناً مع النماذج السابقة [14,18].

يعطى تابع كثافة الاحتمال لقناة الاتصال ذات خفوت Weibull-Gamma بالعلاقة الآتية [18]:

$$f(x) = \frac{bx^{b-1}}{\Gamma(m)} \left[ \frac{1+\frac{2}{b}}{\Omega} \right]^{\frac{b}{2}} \frac{\alpha^{\frac{1}{2}} \lambda^{m-\frac{b+1}{2}}}{2\pi^{\frac{\lambda+\alpha}{2}-1}} G_{0, \alpha+\lambda} \left( \frac{[x^2 \Gamma(1+2/b)]^\lambda}{\Omega^\lambda \lambda^\lambda \alpha^\alpha} \right) \quad (3)$$

حيث  $\Gamma$  هو تابع غاما،  $\Omega$  متوسط استطاعة الخفوت،  $G(.)$  يسمى Meijer-G function تابع رياضي لحساب تكامل معين يعطى وفقاً للجداول الرياضية في [22]، و  $\lambda$  عددان صحيحان موجبان يتم اختيارهما بحث يحققان دائماً العلاقة  $\frac{\lambda}{\alpha} = \frac{b}{2}$ . يميز هذا النموذج وجود البارامترين المتغيرين  $m$  و  $b$  اللذين يتحكمان بطبيعة الخفوت المراد توليده في القناة، يكون  $m$  و  $b$  أكبر من الصفر دائماً وكلما زادت قيمتهما تحسنت طبيعة الخفوت وتقترب القناة من الحالة المثالية والعكس صحيح [18].

#### - ترابط القناة Channel Correlation:

تستغل أنظمة MIMO المسارات المتعددة للإشارة المتشكلة بين هوائيات الإرسال والاستقبال لتحقيق التنوع الفراغي الذي يساهم بدوره بالتقليل من تأثير الخفوت على الإشارة المستقبلية وتخفيض معدل خطأ البت [1]. لتحقيق ما سبق يجب أن تكون المسارات السابقة مختلفة عن بعضها قدر الإمكان من حيث تفاعلها مع وسط الانتشار، بمعنى آخر يجب أن تكون الاستجابات النبضية  $h_{ij}$  المشكلة لمصفوفة القناة  $H$  غير متشابهة فيما بينها أي غير مترابطة. ومن هنا يقاس ترابط القناة في النظام MIMO بمقدار التشابه بين الاستجابات النبضية المشكلة لمصفوفة القناة [12].

يتعلق ترابط القناة بالمسافة الفاصلة بين الهوائيات وبطبيعة الوسط الذي تنتشر فيه الإشارة، ويمكن بشكل عام تحقيق ترابط ضعيف باختيار مسافة أكبر من  $0.5\lambda$  (  $\lambda$  : طول موجة التردد المستخدم) بين الهوائيات حسب الدراسات العملية والنظرية في هذا المجال [23]، كما يفضل أن يكون وسط الانتشار غني بالتضاريس المتنوعة للحصول على مسارات انتشار بخصائص مختلفة فيما بينها. لسوء الحظ، لا يمكن دائما تحقيق الشروط السابقة بشكل مثالي ويبقى الترابط موجودا بشكل أو بآخر، لذلك يتم دراسة ترابط القناة ونمذجته ضمن النظام MIMO حتى نستطيع دراسة تأثيره على الأداء.

يعرف الترابط من خلال مصفوفتي الترابط في الإرسال والاستقبال، تمثل  $R_R$  مصفوفة الترابط في طرف الإرسال بينما تمثل  $R_T$  مصفوفة الترابط في طرف الإرسال ويكون نموذج النظام MIMO بوجود ترابط القناة بالشكل الآتي [1]:

$$Y = R_R \cdot H \cdot R_T \cdot X + n \quad (4)$$

تأخذ مصفوفة الترابط من أجل  $M = 2$  في المرسل الشكل الآتي:

$$R_T = \begin{bmatrix} 1 & \rho_{12} \\ \rho_{21} & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

يمثل  $\rho$  عامل الترابط Correlation Factor الذي يقيس مقدار الترابط بين الاستجابات النبضية للقناة، تتراوح قيمته بين 0 و 1 حيث عندما  $\rho = 0$  يكون الترابط معدوماً، وهكذا بزيادة  $\rho$  يزداد الترابط حتى القيمة العظمى عندما  $\rho = 1$  [23].

**ملاحظة:** تأخذ المصفوفة  $R_R$  نفس الشكل عندما  $N = 2$ ، كما يمكن تعميم الشكل السابق من أجل أي عدد للهوائيات في المرسل أو المستقبل.

## 2- أنظمة MIMO STBC :

قام الباحث Alamouti في [24] بابنكار طريقة لإرسال المعلومات عبر نظام MIMO تعتمد على فكرة الترميز المكاني الزمني Space Time block Code بحيث يتم إرسال الرموز المرسل  $x_1, x_2$  خلال زمنيين متتاليين وعبر هوائيين إرسال كما في الجدول الآتي:

الجدول (1): آلية إرسال الرموز في Alamouti code

Tx	Antenna1	Antenna2
Time $t_1$	$x_1$	$x_2$
Time $t_2$	$-x_2^*$	$x_1^*$

حيث:  $x_1^*, x_2^*$  المرافق العقدي لكل من  $x_2, x_1$  على التوالي. ومنه يُعبر عن مصفوفة الترميز  $C$  بالشكل الآتي:

$$C = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 \\ -x_2^* & x_1^* \end{bmatrix} \quad (6)$$

وتكون معادلة النظام MIMO:

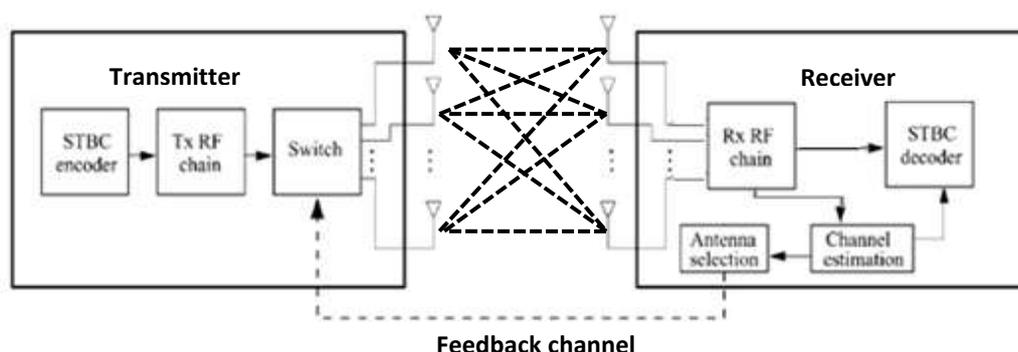
$$Y = H \cdot C + n \quad (7)$$

تحقق الطريقة السابقة المسماة ترميز آلاموتي Alamouti Code ربح التنوع الأعظمي في النظام MIMO مما يساهم بتخفيض معدل خطأ البت بشكل ملحوظ مقارنة مع أنظمة الهوائيات ذات المدخل والمخرج الوحيد (SISO)، مما جعل ترميز آلاموتي من الطرق المستخدمة بكثرة للإرسال في أنظمة اتصالات لاسلكية مختلفة تعتمد تعدد الهوائيات [1,3]. إلا أن ترميز آلاموتي يعمل في أنظمة MIMO تحوي هوائيين فقط في الإرسال  $M = 2$ ، في حال وجود أكثر من هوائي إرسال  $M > 2$  تصاف خوارزمية اختيار بين هوائيات الإرسال Antenna Selection Algorithm للتمكن من تطبيق ترميز آلاموتي واستغلال ميزاته [3,5].

**ملاحظة:** عممت فكرة ترميز آلاموتي من أجل عدد عشوائي من هوائيات الإرسال، لكن كان ذلك على حساب انخفاض معدل نقل المعطيات وزيادة التعقيد في الإرسال والاستقبال [3]. لذلك بقي ترميز آلاموتي بفكرته الأصلية الأكثر استخداماً في أنظمة MIMO STBC.

### 3- خوارزمية اختيار الهوائيات للنظام MIMO STBC:

تكمن الفكرة الأساسية في خوارزمية اختيار الهوائيات بانتقاء مجموعة الهوائيات الأفضل ( $L=2$  هوائي) من بين مجموعة هوائيات الإرسال المكونة من  $M > L$  هوائي وذلك تبعاً لمعيار محدد مسبقاً وفقاً للخطوات الآتية: يقوم المستقبل بتخمين حالة القناة عن طريق خوارزميات التخمين Estimation Algorithms، تسمح هذه العملية بالحصول على مصفوفة القناة المخمّنة  $\hat{H}$ ، يتم بعد ذلك تطبيق المعيار الذي سيعطي أفضل هوائيين ممكنين من بين  $M$  هوائي، يحصل المرسل عندئذ على دليل الهوائيين المختارين عبر قناة راجعة عكسية من المستقبل Feedback channel [5]. يبين الشكل (2) آلية العمل السابقة.



الشكل (2): نظام MIMO STBC بتطبيق خوارزمية اختيار الهوائيات

لفهم عمل خوارزمية اختيار الهوائيات وكيفية تطبيق معيار الاختيار، نستعرض المثال الآتي: بفرض  $M = 3$  هوائيات في المرسل، يجب اختيار  $L = 2$  هوائي للإرسال وفقاً لترميز آلاموتي. تمثل  $Q$  عدد تشكيلات الأزواج الممكن اختيارها من هوائيات الإرسال وتحسب من العلاقة [5]:

$$Q = \binom{M}{L} = \frac{M(M-1)}{L} = \frac{3(3-1)}{2} = 3 \quad (8)$$

تشكل الأزواج الممكنة كالاتي: (الهوائي الأول مع الثاني)، (الأول مع الثالث)، (الثاني مع الثالث)، نعرف المجموعة التي تضم الأزواج السابقة كمايلي:  $A_Q = \{P_1, \dots, P_Q\}$  بمعنى آخر:

$$A_Q = \{P_1, P_2, P_3\} = \{(1,2), (1,3), (2,3)\} \quad \text{الأزواج الممكنة من الهوائيات :}$$

يتم فهرسة الأزواج السابقة ثنائياً حيث نحتاج لـ 2 بت لتمثيل ثلاث حالات وبذلك يحصل كل زوج ممكن من الهوائيات على دليل ثنائي معروف في المرسل والمستقبل. تقوم الخوارزمية عندئذ بتطبيق المعيار الذي يعطي أفضل زوج ممكن من الهوائيات السابقة، ومن أهم المعايير المستخدمة لاختيار الهوائيات في النظام MIMO STBC هو المعيار الذي يسمح بتحقيق أكبر نسبة لاستطاعة الإشارة إلى استطاعة الضجيج (SNR) Signal to Noise Ratio على مدخل الكاشف ويسمى Max-SNR. كما يحقق هذا المعيار أفضل النتائج من حيث معدل خطأ البت [7,8,10,12] وهو المعيار المستخدم في دراستنا. يطبق المعيار Max-SNR رياضياً بالشكل الآتي [7]:

$$H_{opt} = \operatorname{argmax}_{H_{P_i} \in A_Q} \|H_{P_i}\|^2 \quad (9)$$

يشير الرمز  $\|\cdot\|$  إلى مقياس فروبينوس الرياضي Frobenius Norm و  $H_{opt}$  زوج الهوائيات الذي تم اختياره بحيث يحقق أكبر نسبة SNR. يتم إرسال الدليل الثنائي لزوج الهوائيات المختار من المجموعة  $A_Q$  إلى المرسل عبر القناة الراجعة ليقوم المرسل عندئذ باستخدام زوج الهوائيات الموافق لهذا الدليل لإرسال المعلومات باستخدام النظام MIMO STBC.

### النتائج والمناقشة:

قمنا في هذا البحث بدراسة أداء خوارزمية اختيار الهوائيات للنظام MIMO STBC بوجود تأثير ترابط القناة وبافتراض قناة اتصال لاسلكية ذات خفوت Weibull-Gamma Fading. اعتمدنا في تقييم الأداء على استخدام معدل خطأ البت BER كتابع لنسبة استطاعة الإشارة إلى استطاعة الضجيج SNR.

#### 1- إعدادات النموذج المستخدم في المحاكاة:

تمت نمذجة نظام اتصالات لاسلكي متعدد الهوائيات يعتمد تقنية الترميز الزمني المكاني STBC باستخدام برنامج الماتلاب Matlab، وفقاً للفرضيات:

- نظام MIMO STBC يعتمد ترميز آلاموتي Alamouti code.
- خوارزمية اختيار الهوائيات مع المعيار Max-SNR.
- القناة اللاسلكية منمذجة وفقاً لـ Weibull-Gamma Fading تتعرض إلى ضجيج أبيض غوصي مضاف AWGN.
- التعديل المستخدم 4-QAM.
- عدد الرموز المرسل المستخدمة في النموذج 10000 عينة.

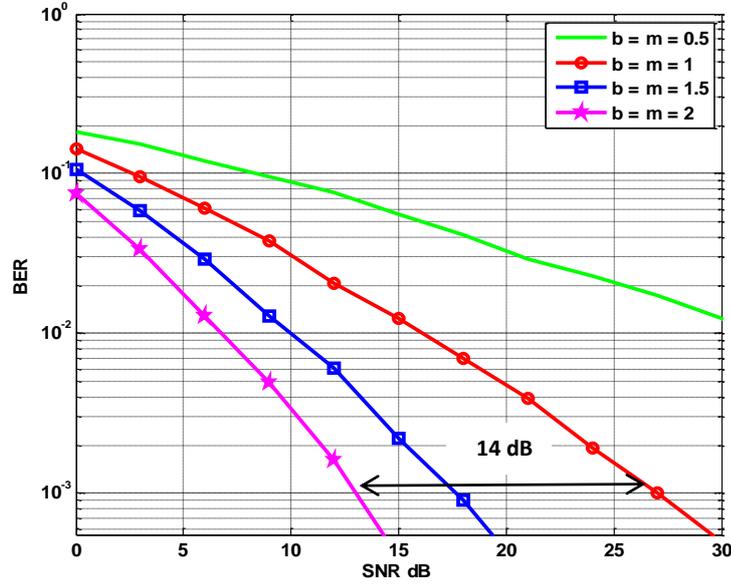
### النتائج والمناقشة:

#### النتائج:

#### 1 التحقق من نموذج القناة

قمنا بداية بالتحقق من صحة نمذجة القناة المستخدمة في دراستنا وفقاً لـ Weibull-Gamma Fading من خلال محاكاة معدل خطأ البت لنظام MIMO Alamouti  $2 \times 2$  ( $M = N = 2$ ) وبافتراض قيم مختلفة للبارامترين

المميزين للنموذج  $m$  و  $b$ . ذكرنا سابقاً أن هذين البارامترين يتحكمان بطبيعة الخفوت داخل القناة وهما أكبر من الصفر دائماً. يبين الشكل (3) معدل خطأ البت للنظام السابق من أجل القيم الآتية لـ  $m$  و  $b$ :  
 $(b = m = 0.5)$ ،  $(b = m = 1)$ ،  $(b = m = 1.5)$ ،  $(b = m = 2)$ .



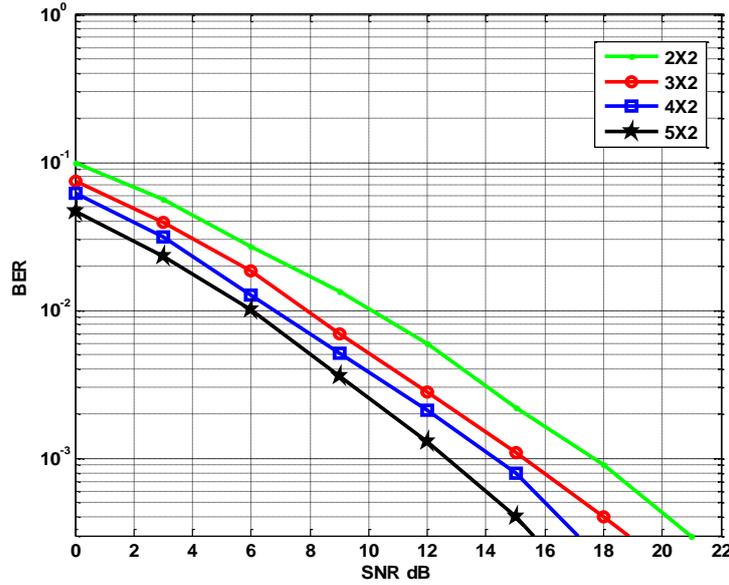
الشكل (3) معدل خطأ البت للنظام  $2 \times 2$  MIMO Alamouti من أجل قناة Weibull-Gamma وقيم مختلفة لـ  $m$  و  $b$

نلاحظ تحسن معدل خطأ البت مع زيادة قيمة البارامترين السابقين. على سبيل المثال، يستطيع النظام MIMO STBC من أجل  $(b = m = 1)$  تحقيق معدل خطأ  $BER = 10^{-3}$  بقيمة SNR أقل بحوالي 14 dB مقارنة مع حالة  $(b = m = 2)$ . تؤكد هذه النتائج صحة الشرح النظري للنموذج Weibull-Gamma في الفقرة (1)، كما تتوافق مع النتائج في [14].

ننتقل بعد التحقق من نموذج القناة لتطبيق خوارزمية اختيار الهوائيات على النظام MIMO Alamouti تمهيدا لدراسة تأثير ترابط القناة مع العلم أنه من الآن وصاعداً تم استخدام قناة Weibull-Gamma مع  $(b = m = 1.5)$  حيث تمثل هذه الحالة نمودجا وسطيا لمحاكاة الخفوت والحجب في قناة الاتصال اللاسلكية [14,15].

## 2 تطبيق خوارزمية اختيار الهوائيات في الإرسال

يظهر الشكل (4) معدل خطأ البت للنظام MIMO Alamouti بتطبيق خوارزمية اختيار الهوائيات ومن أجل عدد هوائيات مختلف في الإرسال  $M = 2, 3, 4, 5$  مع المحافظة دائماً على  $N = 2$  هوائي في الاستقبال. كما يظهر الشكل معدل خطأ البت للحالة الأساسية  $2 \times 2$  MIMO Alamouti التي لا تستلزم اختيار للهوائيات وتستخدم للمقارنة. تقوم الخوارزمية دائماً باختيار أفضل هوائيين ممكنين للإرسال وفقاً للمعيار Max-SNR من بين الهوائيات الموجودة، مما يسمح بتحسين أداء خطأ البت مع زيادة عدد هوائيات الإرسال في كل مرة وفقاً للشكل (4). يحتاج النظام  $2 \times 2$  إلى  $SNR \approx 18$  dB من أجل تحقيق معدل خطأ  $BER = 10^{-3}$ ، بينما يتحسن هذا الأداء إلى  $SNR \approx 14$  dB عند تطبيق خوارزمية اختيار الهوائيات على النظام  $4 \times 2$  مثلاً.

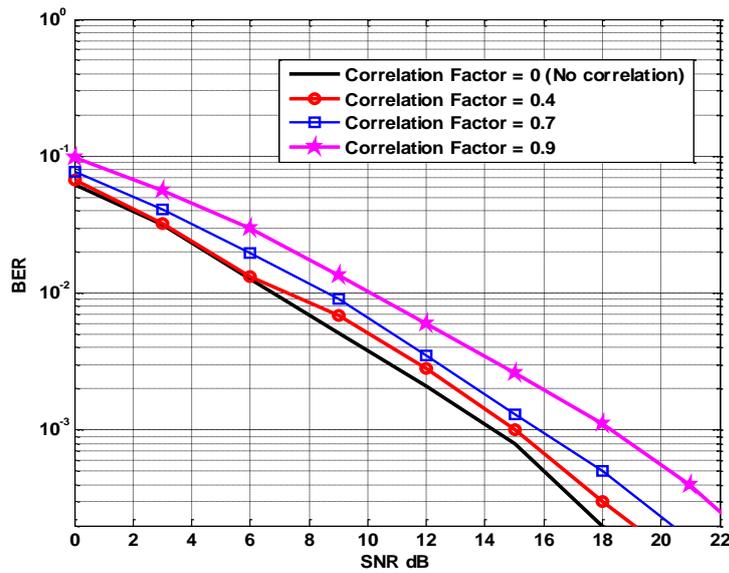


الشكل (4) معدل خطأ البت للنظام MIMO Alamouti من أجل قناة Weibull-Gamma بتطبيق خوارزمية اختيار الهوائيات

### 3 دراسة تأثير ترابط القناة

أكدت النتائج السابقة قدرة خوارزمية اختيار الهوائيات على تحسين أداء النظام MIMO Alamouti عند وجود أكثر من  $M = 2$  هوائي في الإرسال حيث كان الافتراض أن ترابط القناة في النموذج Weibull-Gamma Fading معدوماً وهو ما يوافق الحالة المثالية التي من الصعب تحقيقها كما ذكرنا سابقاً. لذلك تم إضافة الترابط للنموذج السابق من خلال مصفوفتي الترابط في الإرسال والاستقبال وفقاً للنموذج الرياضي في الفقرة (1). اعتمدنا النظام  $4 \times 2$  كمثال لإجراء المحاكاة بعد إضافة الترابط علماً أنه يمكن اعتماد أي من الأنظمة الأخرى ( $5 \times 2, 3 \times 2$ ). تم إعطاء قيم مختلفة لعامل الترابط ( $\rho$ ) Correlation Factor بين 0 و 1 من أجل محاكاة تأثير درجات مختلفة من الترابط على الأداء، علماً أن  $\rho = 0$  يوافق ترابطاً معدوماً و  $\rho = 1$  يوافق القيمة العظمى للترابط.

يبين الشكل (5) كيفية تأثير معدل خطأ البت في خوارزمية اختيار الهوائيات للنظام MIMO Alamouti  $4 \times 2$  بترابط القناة للنموذج Weibull-Gamma Fading. تطابق حالة الترابط المعدوم (Correlation Factor = 0) من الشكل (5) حالة النظام  $4 \times 2$  في الشكل (4) حيث كان الافتراض أن الحالة مثالية. نلاحظ تدهور أداء خوارزمية اختيار الهوائيات مع زيادة ترابط القناة مقارنة مع الحالة المثالية. فمن أجل الحصول على  $BER = 10^{-3}$ ، يجب زيادة النسبة SNR بمقدار 1 dB و 2 dB عند الترابط  $\rho = 0.4$  و  $\rho = 0.7$  على التوالي مقارنة مع الحالة المثالية، بينما يزداد هذا المقدار إلى 4 dB عند ترابط  $\rho = 0.9$  وهو ترابط قريب جداً من الحالة العظمى.



الشكل (5) معدل خطأ البت للنظام MIMO Alamouti من أجل قناة Weibull-Gamma بوجود ترابط القناة وبتطبيق خوارزمية اختيار الهوائيات

### الاستنتاجات والتوصيات:

تناول هذا البحث مسألة تأثير ترابط القناة على أداء خوارزمية اختيار الهوائيات للنظام MIMO STBC بافتراض قناة اتصال لاسلكية ذات خفوت Weibull-Gamma Fading. ويمكن تلخيص ما توصلنا اليه بالنقاط الآتية:

- بينت النتائج في الشكل (3) مرونة وصلاحيّة النموذج Weibull-Gamma لمحاكاة قناة الاتصال اللاسلكية حيث يسمح وجود البارامترين المتغيرين  $m$  و  $b$  بمحاكاة قنوات اتصال لاسلكية بدرجات خفوت مختلفة.  
- أكدت النتائج فعالية خوارزمية اختيار الهوائيات عند تطبيقها في النظام MIMO STBC حيث استغلت التنوع (Diversity) المتشكل من وجود عدة هوائيات في الإرسال لاختيار أفضل هوائيين ممكنين، الأمر الذي سمح بتحقيق نفس معدل الخطأ للنظام الكلاسيكي (بدون اختيار الهوائيات) ولكن مع قيمة SNR أقل (4 dB بين  $2 \times 2$  و  $4 \times 2$  من أجل  $BER = 10^{-3}$ ). يعني ذلك بالنتيجة انخفاضاً في استهلاك الاستطاعة في الإرسال وهذا ما يعتبر من المسائل المرغوبة بشدة في عالم الاتصالات اللاسلكية.

- أظهرت الدراسة مدى تأثير ترابط القناة على معدل خطأ البت لخوارزمية اختيار الهوائيات حيث بينت النتائج بشكل عام انخفاضاً في أداء خوارزمية اختيار الهوائيات ضمن القناة Weibull-Gamma مع زيادة الترابط. ولكن من جهة أخرى، يمكن الاستنتاج أنه ضمن مجال معين لعامل الترابط (0 حتى 0.7 تقريباً) كان انخفاض الأداء مقبولاً (خسارة بمقدار 1 حتى 2 dB عند  $BER = 10^{-3}$ ) مقارنة مع الحالة المثالية (حالة عدم الترابط). وفقاً لما سبق، يمكن للنظام أن يعمل بشكل جيد ضمن الحدود السابقة لعامل الترابط.

## المراجع:

- [1] Clerckx, B, Oestges, C. *MIMO Wireless Networks: Channels, Techniques and Standards for Multi-Antenna, Multi-User and Multi-Cell Systems*. Academic Press (Elsevier), Oxford, UK, 2013, 752.
- [2] VASHI, R. CHOKSI, A. SEVAK, M. M. *A Performance Comparison of Spatial Multiplexing MIMO*. International Journal of Computer Applications, Vol. 125, No. 3, 2015, 6-9.
- [3] SHARMA, N. *Space Time Block Code for Next Generation Multi-user MIMO Systems*, 9th International Conference on Future Networks and Communications, 2014, 172 – 179.
- [4] ALQAHTANI, A, SULYMAN, A, ALSANIE, A. *Rateless Space Time Block Code for Massive MIMO Systems*, International Journal of Antennas and Propagation, 2014.
- [5] GHAYEB A. *A Survey on Antenna Selection for MIMO Communication Systems*, 2nd International Conference on Information & Communication Technologies, Damascus, 2006, 2104-2109.
- [6] CHEN, Z, YUAN, J, VUCETIC, B. *Analysis of Transmit Antenna Selection /Maximal-Ratio Combining in Rayleigh Fading Channels*, in IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 54, no. 4, 2005, 1312-1321.
- [7] CHEN, Z, COLLINGS, I, ZHOU, Z, VUCETIC, B. *Transmit Antenna Selection Schemes with Reduced Feedback Rate*, in IEEE Transactions on Transmission On Wireless Communication, VOL. 8, NO. 2, 2009.
- [8] GANGWAR, V, CHANDRA, D. *Capacity and BER improvement through antenna selection in MIMO systems*, 2013 International Conference on Optical Imaging Sensor and Security (ICOSS), Coimbatore, 2013, 1-5
- [9] ALMMARI, M, FORTIER, P. *Physical Layer Security of MIMO Wiretap Systems with Antenna Selection in Rayleigh Fading with Imperfect Feedback*, IEEE 82nd Vehicular Technology Conference (VTC2015-Fall), Boston, 2015,1-5.
- [10] CHEN, Q, ZHUANG, M. *Performance analysis of QSTBC systems based on transmit antenna selection in correlation channel*, 2010 International Conference on Anti-Counterfeiting, Security and Identification, Chengdu, 2010, 351-354.
- [11] SHYAMALA, S, BHASKAR, V. *Capacity of multiuser multiple input multiple output-orthogonal frequency division multiplexing systems with doubly correlated channels for various fading distributions*, in IET Communications, vol. 5, no. 9, 2011 1230-1236.
- [12] CHAKRAVARTI, J. M, TRIVEDI, Y. N. *Performance analysis of MISO systems with antenna selection over correlated channels*, Twenty First National Conference on Communications (NCC), Mumbai, 2015, 1-5.
- [13] KIM, S. *Performance of decremental antenna selection algorithms for spatial multiplexing MIMO systems with linear receiver over correlated fading channels*, in IET Communications, vol. 11, no. 6, 2017, 855-863.
- [14] ANSARI, I. S, ALOUINI, M. S, *On the Performance Analysis of Digital Communications over Weibull-Gamma Channels*, IEEE 81st Vehicular Technology Conference (VTC Spring), Glasgow, 2015, 1-7.
- [15] TIWARI, K, SAINI, D. S, *SER improvisation of MIMO-MRC system over Weibull-Gamma fading channel*, International Conference on Signal Processing and Communication (ICSC), Noida, 2015, 70-73.

[16] TIWARI, K, DAVINDER, S, BHOOSHAN, V. *On the Capacity of MIMO Weibull-Gamma Fading Channels in Low SNR Regime*, Journal of Electrical and Computer Engineering, 2016.

[17] CHAAYRA, T, BOUANANI, F, BENAZZA, H. *Performance analysis of TAS/MRC based MIMO systems over Weibull fading channels*, International Conference on Advanced Communication Systems and Information Security, 2016, 1-6.

[18] TIWARI, K, DAVINDER, S, BHOOSHAN, V. *Antenna selection for MIMO systems over Weibull-Gamma fading channel*, In Perspectives in Science, Vol. 8, 2016.

[19] NGO, Q; BERDER, O; SCALAR, P. *General minimum Euclidean distance-based precoder for MIMO wireless systems*, EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, Springer International Publishing, 2013, 1-12.

[20] BEJARANO, O; KNIGHTLY, E. . *IEEE 802.11ac: From Channelization to Multi-User MIMO*. IEEE Communications Magazine, Vol. 51, NO. 10, 2013, 84-90.

[21] SHARMA, V. "MIMO Techniques in Downlink LTE Networks: A Review. International Journal of Advanced Research in Electronics and Communication Engineering, Vol. 4, No. 2, 2015, 325-327.

[22] GRADSHTEYN, I. S, RYZHIK, I. M. *Table of Integrals, Series and Products*. New York: Academic Press, 2000.

[23] NAKABAYASHI, H, IGARASHI, S, HAMASHIMA, T. *MIMO Channel Model and Correlation between Channel Matrix Elements in Multipath Channel*. IEEE 75th Vehicular Technology Conference (VTC Spring), Yokohama, 2012, 1-5.

[24] ALAMOUTI, S. M. *A simple transmitter diversity scheme for wireless communications*. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, VOL. 16, No. 8, 1998, 1451-1458.