

دراسة ومقارنة أداء طرائق تخمين القناة في نظام *MIMO-OFDM* عند استخدام شفرات *STBC*

م. ايلي خليل

ملخص:

ترسل البيانات في نظام التجميع بتقسيم التردد المتعامد orthogonal frequency division multiplexing على عدد كبير من الحوامل المتعامدة، وتعرض هذه الحوامل لأشكال مختلفة من قنوات الخفوت التي تؤثر على البيانات المرسلة.

تتم عملية كشف البيانات عبر معرفة استجابة القناة عند كل حامل، وذلك عبر ارسال اشارات دليلية (PILOT) معروفة مسبقاً لدى المستقبل واعتماد طرائق تخمين القناة .

يتم دمج نظام OFDM مع نظام متعدد الدخل- متعدد الخرج (multiple input and multiple output) (MIMO)، عبر ارسال واستقبال اشارات OFDM على أكثر من هوائي ويتم ذلك عبر تشفير هذه الاشارات بأحد انماط التشفير المتبعة في نظام MIMO.

ندرس في هذا البحث الشفرات البلوكية المفصولة زمنياً (Spaced-Time Block codes)، وذلك في حالتين عند اعتماد هوائي ارسال وهوائي استقبال واحد، أو عند اعتماد هوائي ارسال واستقبال .

ونبين تأثير هذه الشفرات على أداء عدد من طرائق تخمين القناة، ونرسم مخطط خطأ BER من أجل حالتين من حالات الخفوت عند زمن تأخير الانتشار العالي ومن أجل تردد دوبلر المرتفع.

الكلمات المفتاحية: OFDM ، MIMO ، STBC، تخمين القناة .

Comparison Between The Performance of Channel Estimation in MIMO-OFDM When We Use STBC

Abstract

In OFDM system we transmit data symbols on a large number of subcarriers, and these data symbols exposed to changes in amplitude and phase, caused of fading Channel.

To get the transmitted data at the receiver we must cope with these changes, so we need to know the channel response at every subcarrier and every symbol, and for that reason we use PILOTS and we use many methods to estimate the channel response depend on pilots.

We merge OFDM System with MIMO System By Transmit and receive OFDM signal over multiple antennas, and using type of codes to transmit data .

We will discuss in these issue the Space time block code, at two case:

2*1: system with tow transmitter and one receiver antennas.

2*2: system with tow transmitter and tow receiver antennas.

And its effect at the performance of many channel estimation we will study the BER and MSE in both case of frequency selective fading and the case of high Doppler shift .

Key Word: MIMO, OFDM ,STBC, Channel Estimation .

1- مقدمة:

يعد نظام (OFDM) من أكثر الأنظمة شيوعاً في الاتصالات اللاسلكية ؛ حيث اعتمد في العديد من المعايير اللاسلكية، وفي الجيل الرابع من أنظمة الاتصال الخلوية 4G ، وذلك لكفاءته الطيفية ومعدلات نقل البيانات العالية التي يؤمنها [1].

إنّ إحدى الطرائق لتحسين أداء أي نظام اتصال في قنوات الخفوت هي تغيير مواصفاته الإحصائية، ويتم ذلك بشكلٍ عام بوساطة تقنية تدعى التعدد، حيث تخفف تأثيرات الخفوت عملياً في أنظمة التعدد بوساطة خوارزميات معالجة الإشارة المصممة بشكلٍ مناسب في كل من المرسل و المستقبل .

يعرّف التعدد على أنّه قنوات مستقلة متعددة بين المرسلات و المستقبلات ؛ لذلك تحدث تعددية الهوائيات أو التمييز القطبي عندما يكون للمسارات المستقلة حيّز مكاني في الطبيعة . حيث يمكن القول أنّه يوجد فراغ كافٍ بين عناصر الهوائي في المرسلات و المستقبلات بحيث أنّه لا يوجد ارتباط، أو يوجد ارتباط قليل جداً بين إشاراتها المتوقعة. تستخدم تعددية الهوائيات إما من أجل تحسين أداء الوصلة للإشارة، أو لزيادة معالجة البيانات [2] .

تم استخدام نظام OFDM مع عدة هوائيات في كل من المرسل والمستقبل من أجل تحسين أداء النظام في قنوات الخفوت المتعددة، وزيادة معدل نقل البيانات كما ذكرنا سابقاً، ويطلق على هذه الهوائيات المتعددة في كل من الخرج والدخل مصطلح (multiple input and multiple output) الأنظمة متعددة الدخل- متعددة الخرج (MIMO).

وقد حسنت أنظمة MIMO من أداء أنظمة الاتصالات اللاسلكية بالنسبة للعديد من العوامل، مثل تحسين السعة و الحصول على معدل معطيات أعلى و معدل خطأ بت (BER) أخفض [3]، كما أعطت أنظمة MIMO إنتاجية جيدة وكفاءة طيفية عالية مع

نفس الاستطاعة المرسل، وعرض حزمة المتطلبية في حالة الأنظمة التي لا تعتمد التعدد
(SISO) (Single input-Single output) [4].

تطبق أنظمة MIMO وفق عدة نماذج فمن الممكن أن نرسل نفس الإشارة على كل الهوائيات، مما يعني اننا سنحسن من أداء النظام تجاه قنوات الخفوت، ولكننا لن نزيد من سعة البيانات، ويسمى هذا النموذج بتقنية التباين الفراغي (Spatial Diversity)؛ حيث يتم توليد N نسخة بديلة عن الإشارات، وهذه الإشارات ستكون مرتبطة بهوائيات الإرسال، ويتم تخفيض تأثير خفوت الإشارة بشكل كبير في هذه الحالة.

أو يتم تقسيم قطار البتات للدخل إلى عدد من القطارات الفرعية وعددها N ، حيث N يحدد العدد الكلي لهوائيات الإرسال، ويتم تجميع الإشارة القادمة في طرف الاستقبال باستخدام تقنيات التجميع المختلفة، وتدعى هذه التقنية بتقنية التجميع الفراغي (Spatial diversity) وتزيد هذه التقنية من معدل المعطيات للإرسال وذلك بالإرسال التفرعي الذي يتم تحقيقه [4].

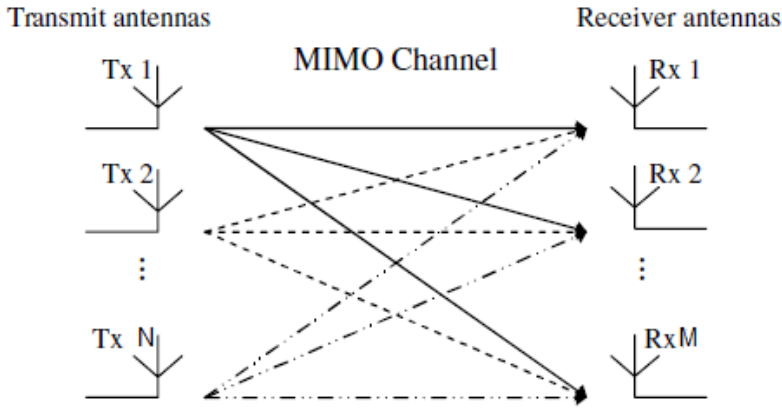
يتم تشفير البيانات في مشفر MIMO قبل أن ترسل على الهوائيات المتعددة وفق عدة أنواع من الشفرات كالشفرات الطبقيّة المفصولة زمنياً (layered Spaced-Time codes)، أو الشفرات التشعبية المفصولة زمنياً (Trellis Spaced-Time codes)، أو الشفرات البلوكية المفصولة زمنياً (Spaced-Time Block codes).

2-هدف البحث:

يهدف البحث الى دراسة استخدام الشفرات البلوكية المفصولة زمنياً STBC في نظام MIMO-OFDM، في حالتين عند اعتماد هوائي ارسال وهوائي استقبال واحد، أو عند استخدام هوائي ارسال و هوائي استقبال، ودراسة تأثيرها على أداء عدد من طرائق التخمين المستخدمة في نظام OFDM، وذلك من أجل حالتين من حالات الخفوت عند زمن تأخير الانتشار العالي، ومن أجل تردد دوبلر المرتفع.

3- نموذج القناة لأنظمة MIMO (دخل متعدد / خرج متعدد) :

لنعتبر لدينا وصلة اتصالات تتضمن N هوائي إرسال و M هوائي استقبال المبينة في الشكل (1)، و التي تعمل في قناة MIMO . يستجيب كل هوائي مستقبل لكل هوائي إرسال من خلال مسار خفوت مستقل إحصائياً . إنَّ الإشارات المستقبلية تكون محزفة بوساطة ضجيج إضافي و الذي يكون مستقل إحصائياً بين M هوائي للمستقبل و أدوار الإرسال .



الشكل (1) نظام MiMO يستعمل N هوائي ارسال و M هوائي استقبال

تعطى الاشارة المستقبلية عند هوائي الاستقبال K بالعلاقة التالية [2]:

$$r_k = \sum_{i=1}^N H_{ik} * S_i + n_i \quad 1 < k < M \quad (1)$$

حيث: r_k هي الاشارة المستقبلية عند الهوائي K

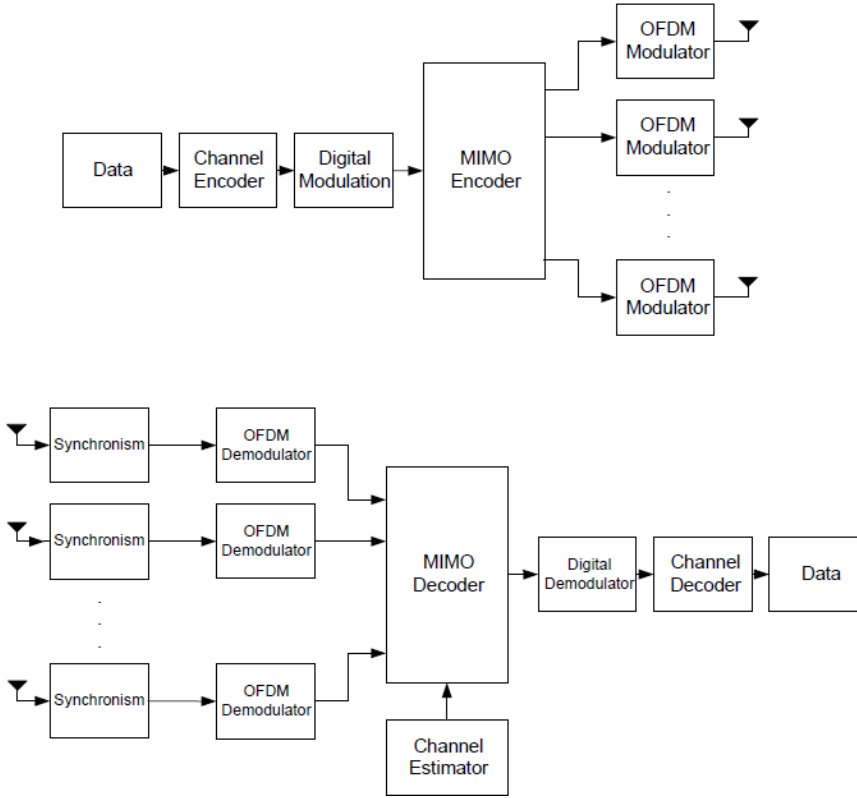
H_{ik} هي مسار الخفوت بين هوائي المرسل i و هوائي الاستقبال K

S_i هي الاشارة المرسلة عند الهوائي i

n_i ضجيج غاوصي مستقل عشوائياً بتباين معياري قيمته (1)

4-بنية النظام الهجين OFDM-MIMO :

يتم دمج نظام OFDM مع نظام MIMO عبر ارسال اشارة OFDM عند كل هوائي ارسال كما يبين الشكل (2) .



الشكل (2) مخطط صندوقي لنظام OFDM-MIMO

تشفر البيانات أولاً باستخدام شيفرة القناة لحمايتها من العيوب الناجمة عن القناة، ثم تمرر الى مشفر MIMO (MIMO encoder) الذي يقسم انسياب البيانات المشفر إلى N انسياب متوازي.

يتم تشفير البيانات في مشفر MIMO وفق عدد من الشفرات، كشفرة التأخير (Delay) التي تعد أبسط الشفرات، وتعتمد الى ارسال نفس البيانات على كل هوائي

بتأخير زمني، أو الشفرات الطبقيّة المفصولة زمنياً (layered Spaced-Time codes)، والتي تفترض أن يكون عدد هوائيات الإرسال نفس عدد هوائيات الاستقبال، وتعالج الإشارة المرسلّة من الهوائي المرسل الأول عند المستقبل كإشارة مرغوبة، بينما تعامل الإشارات المرسلّة من الهوائيات الأخرى عند هذا المستقبل كإشارات ضجيج.

أو الشفرات التشعبية المفصولة زمنياً (Trellis Spaced-Time codes)، التي تقسم البيانات إلى مجموعات، وترسل على كل هوائي وتقدم معدلات نقل بيانات عالية.

أو الشفرات البلوكية المفصولة زمنياً (Spaced-Time Block codes)، والتي سندرس أداءها بشكل تفصيلي في هذا البحث.

يعدل كل انسياب وفق نظام OFDM، ويرسل كل منها باستخدام هوائيات منفصلة.

يتم توليد إشارة OFDM عند كل هوائي وتضمين البيانات المرسلّة على حوامل فرعية متعامدة تشكل مجملها إشارة OFDM، و تتم عملية تشكيل إشارة OFDM باستخدام تحويل فورييه المعكوس IFFT [5].

يتم ادراج مجموعة من الاشارات الدليلية المعروفة مسبقاً لدى المستقبل (PILOTS)، من أجل تخمين القناة عند كل حامل فرعي من حوامل إشارة OFDM، وذلك من أجل معرفة استجابة القناة عند المسار بين هوائي المرسل i و هوائي الاستقبال K (H_{ik}).

يتم بعد ذلك إضافة فترة الحماية، حيث يمدد رمز OFDM بشكل دوري، وذلك من أجل المحافظة على التعامدية بين الإشارات قبل أن تتم عملية إرسال الإشارة.

يتم عند الاستقبال التعامل أولاً مع كل إشارة OFDM على حدة، واستخلاص استجابة القناة عند كل مسار، قبل أن تتم عملية الاستفادة من تعدد الاشارات الواصلة إلى كل هوائي كما سنبين لاحقاً.

إن معالجة الإشارة الرقمية تبدأ بتهيئة الطور لتحديد توقيت الرمز، و انزياح التردد. يستخدم FFT لفك تعديل كل الحوامل الفرعية [5].

تتم معرفة استجابة القناة عند كل حامل فرعي في النظام وعند كامل الرموز بالاعتماد على الاشارات الدليلية المرسله ، وذلك بالاعتماد على طرائق تخمين القناة مثل طريقة LS (Least Square) أو طريقة linear mean minimum square error (LMMSE) [5].

بعد معرفة استجابة القناة عند كل وصلة والبيانات المرسله على كل حامل ترسل الى فاك تشفير MIMO (MIMO decoder) ليتم التعامل معها حسب التقنية المعتمدة عند الارسال.

5- الشفرات البلوكية المفصولة زمنياً (Spaced-Time Block codes) :

اقترحت هذه الشفرة من قبل العالم Alamouti بسبب تعقيد فك التشفير في مخططات التشعب المستخدمة في شفرات التشعب المفصولة زمنياً، وقد طبق Alamouti هذا النمط من أجل هوائي إرسال واحد و M هوائي استقبال.

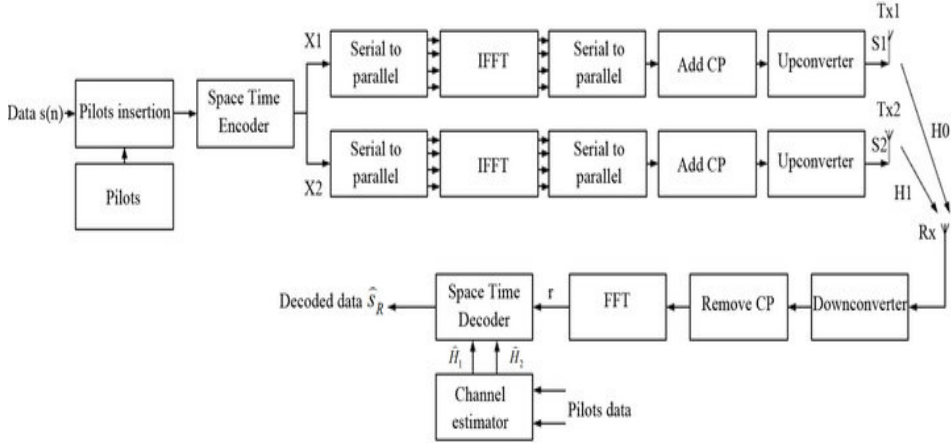
ويعتبر STBC نمط تشفير قوي جداً ويملاً الفجوة بين التجميع الفراغي والتباين الفراغي أي يقدم حلاً وسطاً بين معدل نقل البيانات العالي والأداء الجيد ويبين الشكل مخطط ارسال واستقبال لنظام MIMO-OFDM مع اعتماد شفرات STBC.

يمكن تلخيص الخواص الرئيسية لصندوق الشيفرات المفصولة زمنياً-block space time codes بما يلي:

1- لا يوجد ضياع في عرض الحزمة لأن الخوارزمية الخاصة به تعطي أعلى معدل نقل ممكن عند استخدام full diversity.

2-الفعالية الطيفية لهذا النظام أقل من الفعالية الطيفية لشيفرات التشعب المفصولة زمنياً STC trellis.

3-يتم استخدام خوارزمية بسيطة جدا تستخدم جوامع خطية فقط عند المستقبل لفك تشفير الاحتمال الأعظمي [2].



الشكل (3) مخطط صندوقي لنظام OFDM-MIMO

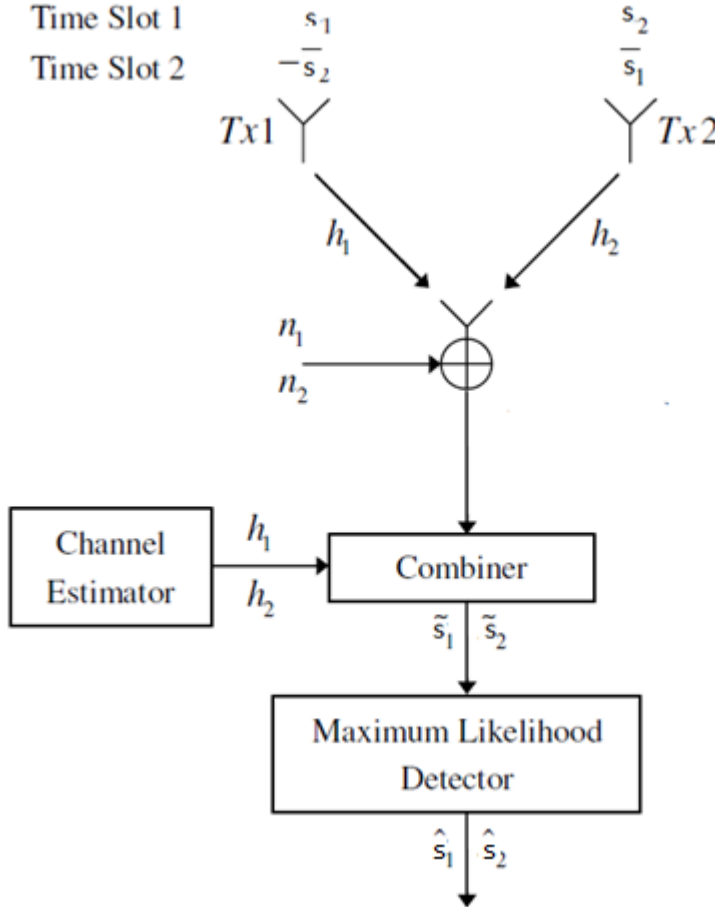
و تأتي بساطة الخوارزمية من تصميمها بحيث تكون أعمدها متعامدة فيما بينها. وتعطى مصفوفة STBC من أجل هوائي إرسال كما يلي [6]:

$$C2 = \begin{pmatrix} S_1 & -S_2^* \\ S_2 & S_1^* \end{pmatrix}$$

حيث يرسل الرمز S_1 من الهوائي (1) خلال الحيز الزمني t_1 ، ويرسل الرمز S_2 من الهوائي (2) خلال الحيز الزمني t_1 ، بينما يرسل الرمز $-S_2^*$ من الهوائي (1) خلال الحيز الزمني t_2 ، أما الرمز S_1^* يرسل من الهوائي (2) خلال الحيز الزمني t_2 كما هو مبين في الشكل (3).

وتكون العلاقة بين الزمنيين $t_2 = t_1 + \tau$ و S_1^*, S_2^* ، هما المرافقان العقديان للرمزين S_2, S_1 على الترتيب .

يرسل الرمز s_1 في زمن t_1 والرمز s_2 في زمن t_2 ،
والذي يعتبر معدل معطيات كامل ورتبة التباين هي $2M$ حيث M يحدد عدد هوائيات
الاستقبال .



الشكل (4) مخطط صندوقي لآلية عمل الشفرات البلوكية المفصولة زمنياً

تكون الإشارة المستقبلية عند طرف الاستقبال كما هو مبين في المعادلة التالية [7] :

$$r_1(t_1) = h_{1,1}S_1 + h_{1,2}S_2 + n \quad (2)$$

$$r_1(t_2) = -h_{1,1} S_2^* + h_{1,2}S_1^* + n \quad (3)$$

حيث $r_1(t_1)$ الاشارة المستقبلية في الحيز الزمني 1

$r_1(t_2)$ الاشارة المستقبلية في الحيز الزمني 2

نحصل على استجابة القناة $h_{1,1}$ ، $h_{1,2}$ من مخزن نظام OFDM بالاعتماد على الاشارات الدليلة المرسله و طرائق تخمين القناة.

يمكن تعميم المعادلتين السابقتين على أكثر من مستقبل وفق المعادلة التالية [7] :

$$r_j(t_1) = \sum_{i=1}^N h_{i,j} S_i + n_j \quad (4)$$

حيث $r_j(t_1)$ هي الاشارة المستقبلية عند هوائي الاستقبال J وخلال الحيز الزمني (t_1)

و N عدد الهوائيات المرسله وهي في حالتنا تساوي 2 .

يمكن استعادة عينات البيانات المرسله بعد معرفة استجابة القناة بوساطة جامع خطي linear combining عند اللحظة (t_1) و اللحظة (t_2) بالترتيب كما هو مبين في المعادلتين التاليتين [2]:

$$\tilde{S}_1 = h_1^* r_1(t_1) + h_2 r_2^*(t_1) + n_1 \quad (5)$$

$$\tilde{S}_2 = h_2^* r_1(t_1) - h_1 r_2^*(t_1) + n \quad (6)$$

حيث \tilde{S}_1 ، \tilde{S}_2 هي الاشارات المستخرجه مع الضجيج.

بالتعويض عن $r_1(t_1)$ ، $r_2(t_1)$ نجد :

$$\tilde{S}_1 = (|h_1|^2 + |h_2|^2) S_1 + h_1^* n_1 + h_2 n_2^* \quad (7)$$

$$\tilde{S}_2 = (|h_1|^2 + |h_2|^2)S_2 + h_2^*n_1 + h_1n_2^* \quad (8)$$

إن المعادلتين (7)،(8) تعطي تخمين أفضل من حالة عدم التعدد لأن احتمال خفوت كلا من h_1 و h_2 معاً في وقت واحد أقل من احتمال خفوت h_1 في المعادلة 3. والميزة الأكبر أنه في حال تعرضت h_1 و h_2 لفقد ريليه، فإن $|h_1|^2$ تتعرض لفقد Chi-square من الدرجة الثانية (two degrees of freedom) أما $|h_1|^2 + |h_2|^2$ تتعرض لفقد Chi-square من الدرجة الرابعة Chi-square distribution with four degree of freedom [2].

بالتالي احتمال أقل للخفوت العميق deep fade. هذا يبين الفرق بين نظام اللاتعدد والنظام الذي يستخدم التعدد.

توجه الآن القيم المستخلصة \tilde{S}_1 ، \tilde{S}_2 الى مخمن الأرجحية العظمى Maximum likelihood Decoder الذي يحدد الرموز المرسله الأكثر احتمالاً وذلك باختيار الرموز التي تجعل المسافة الاقليدية (Euclidean Distance) عن الاشارات المستقبله أقل مايمكن وفق المعادلة التالية [7]:

$$\sum_{t=1}^p \sum_{j=1}^M \left| r_j(t) - \sum_{i=1}^N h_{i,j} s_t^i \right|^2 \quad (9)$$

حيث p هي عدد الفواصل الزمنية التي تتم فيها عملية الارسال.

ومن أجل حالتنا التي تعتمد هوائيي ارسال ووشفرة STBC نحصل على الخوارزمية الاتية من أجل تحديد S_1 [8]:

$$\left| \left[\sum_{i=1}^M r_i(t_1) h_{i,1}^* + r_i^*(t_2) h_{i,2}^* \right] - S_1 \right|^2 + \left(-1 + 2 \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^2 |h_{i,j}|^2 \right) |S_1|^2 \quad (10)$$

ومنها نختار S_1 التي تجعل القيمة أصغر ما يمكن

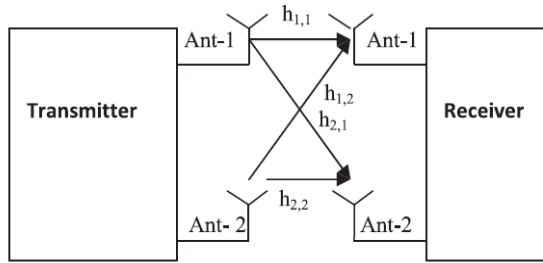
و من أجل تحدي S_2 لدينا المعادلة (11) :

$$\left| \left[\sum_{i=1}^M r_i(t_1) h_{i,2}^* - r_i^*(t_2) h_{i,1}^* \right] - S_2 \right|^2 + \left(-1 + 2 \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^2 |h_{i,j}|^2 \right) |S_2|^2 \quad (11)$$

ومنها نختار S_2 التي تجعل القيمة اقل مايمكن.

6- حالة هوائي ارسال و هوائي استقبال (2*2):

نستخدم بهذه الحالة نفس مصفوفة الترميز المستعملة في الحالة السابقة .



الشكل (5) نموذج نظام 2*2

هنا لدينا إشارتين مستقبليتين وزمنييين مختلفين كما هو محدد في المعادلات التالية [6]:

$$r_1(t_1) = h_{1,1} S_1 + h_{1,2} S_2 + n_1 \quad (12)$$

$$r_1(t_2) = -h_{1,1} S_2^* + h_{1,2} S_1^* + n_2 \quad (13)$$

$$r_2(t_1) = h_{2,1}S_1 + h_{2,2}S_2 + n_3 \quad (14)$$

$$r_2(t_2) = -h_{2,1} S_2^* + h_{2,2}S_1^* + n_4 \quad (15)$$

وهذه المخارج المستقبلية تعطى كمدخل إلى كاشف ML ليتم كشف الرموز S_2 ، S_1 ، وتتم عملية الكشف بنفس الطريقة المبينة في الحالة السابقة و يتم إيجاد المسافات الأصغرية لكل القيم الممكنة للرموز .

نقوم الآن بإجراء محاكاة باستخدام الماتلاب لنظام MIMO-OFDM ، يستخدم شفرات STBC في كلا الحالتين : عند استخدام هوائي ارسال وهوائي استقبال واحد (2^*1)، أو عند استخدام هوائي ارسال و هوائي استقبال (2^*2) ، وذلك من أجل عدة طرائق تخمين للقناة في نظام OFDM، و من أجل حالتين من حالات الخفوت عند زمن تأخير الانتشار العالي ومن أجل تردد دوبلر المرتفع.

1- عند اعتماد طريقة (Least Square) LS لتخمين القناة:

تعتمد طريقة LS على جعل مربع المسافة بين الإشارة المرسله ، والإشارة المستقبلية أصغر ما يمكن . كما يلي [9] :

$$\min_{H^H} J(H) = \min_{h^H} \{|Y - XH|^2\} = \min_{h^H} \{(Y - XH)^H (Y - XH)\} \quad (16)$$

حيث H^* تعني المرافق العقدي للمنقول

$$\frac{\partial}{\partial H^H} J(H) = 0 \quad \text{يكون هذا الفرق أصغر ما يمكن عندما يكون المشتق صفراً:}$$

و بالتالي تكون استجابة القناة تساوي:

$$\hat{H}_{LS} = \left[\frac{Y_1}{X_1} \frac{Y_2}{X_2} \dots \frac{Y_{NP}}{X_{NP}} \right]^T \quad (17)$$

سنقوم الآن بدراسة أداء هذه الطريقة عند استخدام شفرات STBC في نظام MIMO من أجل حالتين (2*1) و (2*2) في كلا الحالتين التاليتين :

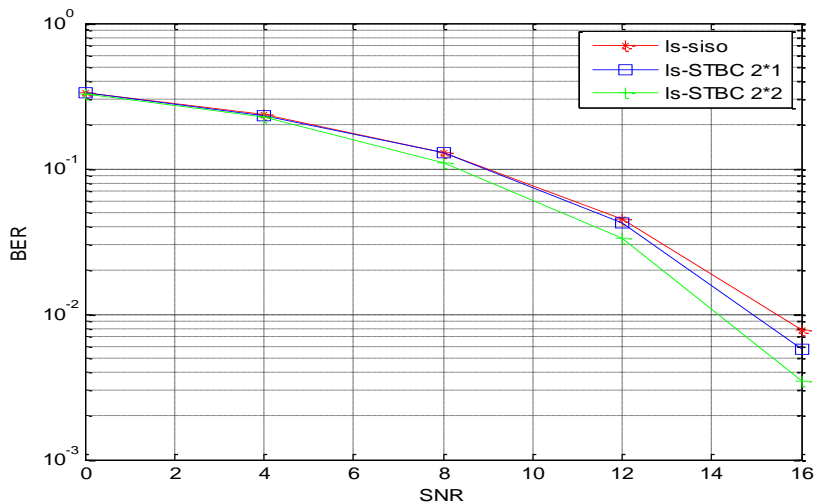
أولاً: من أجل بيئة خفوت تتسم بزمن تأخير انتشار عالي :

نرسم منحنى الخطأ BER عند استخدام هذه الطريقة باستخدام برنامج Matlab و سنعتمد في دراستنا على النمط البلوكي لتوزيع الاشارات الدليلية بحيث نضع لكل 9 رموز إشارة دليلية (Pilot) وذلك في حال كانت رموز المعطيات هي رموز أنظمة التعديل 16QAM أو QPSK.

علماً أن بارامترات نظام OFDM المستخدمة هي: عرض حزمة كلي B=16MHz و زمن الحماية $T_g = 8\mu s$ وزمن الرمز الكلي $T_s = 64\mu s$ وعدد الحوامل N=64 وعدد حوامل فترة الحماية $N_g = 8$ فيكون عدد الحوامل الكلي $N_{OFDM} = 72$.

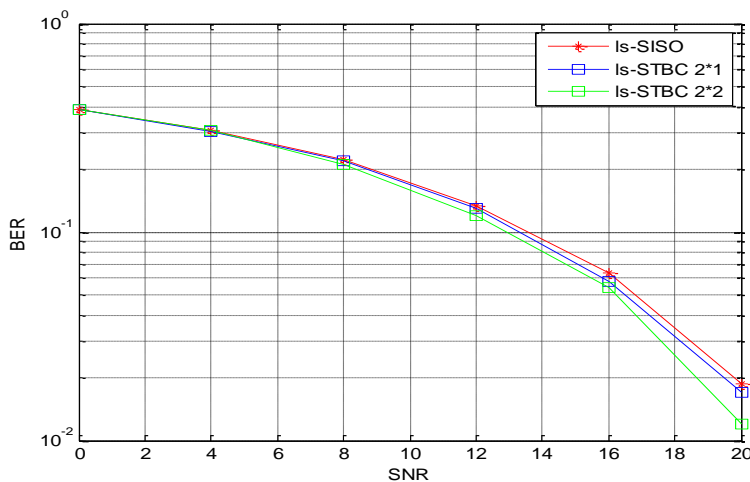
و تمت الدراسة عند تأخير انتشار $\tau_{rms} = 8\mu s$

A. من أجل رموز معطيات بتعديل QPSK:



الشكل (6) خطأ BER عند استعمال طريقة LS عند عدم وجود تعدد (SISO) وعند استعمال STBC في كلا الحالتين 2×2 و 1×2 وذلك من أجل تعديل QPSK

B. من أجل رموز معطيات بتعديل 16QAM:



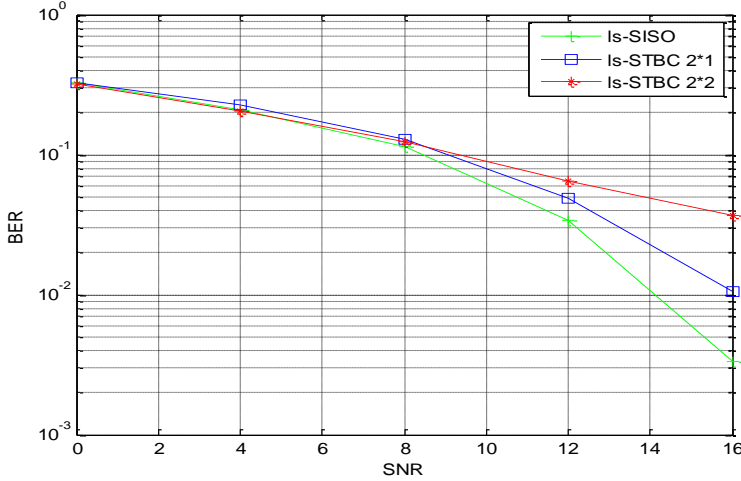
الشكل (7) خطأ BER عند استعمال طريقة LS عند عدم وجود تعدد (SISO) وعند استعمال STBC في كلا الحالتين 2×2 و 1×2 وذلك من أجل تعديل 16QAM

نلاحظ من الشكلين (5,6) أن استخدام التعدد مع شفرات STBC يحسن من أداء طريقة LS بشكل بسيط من أجل زمن تأخير انتشار مرتفع.

ثانياً: من أجل بيئة خفوت تتسم بتردد دوبلر مرتفع:

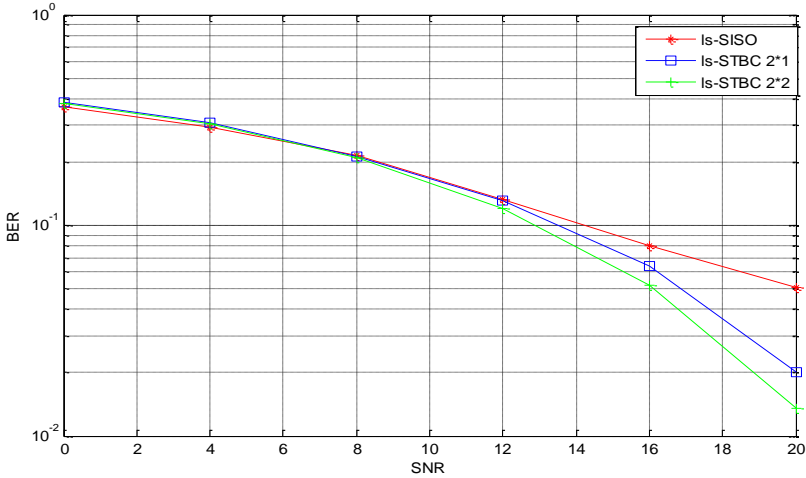
سنقوم الآن بأجراء نفس عملية المحاكاة السابقة ورسم منحنى الخطأ BER عند استخدام طريقة تخمين LS من أجل أنماط توزيع الاشارات الدليلية الثلاث وسنعمد نفس البارامترات السابقة مع تغيير بارامترات بيئة الخفوت حيث سندرس حالة تردد دوبلر مرتفع $f_d = 35Hz$.

A. من أجل رموز معطيات بتعديل QPSK :



الشكل (8) خطأ BER عند استعمال طريقة LS عند عدم وجود تعدد (SISO) وعند استعمال STBC في كلا الحالتين 1*2 و 2*2 وذلك من أجل تعديل QPSK

B. من أجل رموز معطيات بتعديل 16QAM :



الشكل (9) خطأ BER عند استعمال طريقة LS عند عدم وجود تعدد (SISO) وعند استعمال STBC في كلا الحالتين 1*2 و 2*2 وذلك من أجل تعديل QAM16

يبين الشكلين (7,8) أن استخدام التعدد مع شفرات STBC يحسن بدرجة كبيرة أداء طريقة LS عند تردد دوبلر العالي.

2- طريقة التخمين المعتمدة على تحويل فورييه DFT :

إن استجابة القناة المخمنة بطريقة LS Least Square (h_{ls}) تعطى بالعلاقة :

$$\hat{h}_{ls} = Y X^{-1} \quad (18)$$

حيث X هي الإشارة المرسلة و Y هي الإشارة المستقبلية.

بتطبيق تحويل فورييه المعكوس IDFT، يمكن الحصول على الاستجابة النبضية للقناة Channel Impulse Response CIR من الاستجابة الترددية للقناة Channel Frequency Response CFR كما يلي :

$$\hat{H}_{ls} = \text{IDFT}[\hat{h}_{ls}] \quad (19)$$

تمتلك عدة رموز من CIR طاقة منخفضة في قنوات خفوت متعدد المسارات، بالتالي فإننا نأخذ فقط أول L رمز ذي الطاقة الأعلى، و نحصل بالتالي على [10]:

$$\hat{H}_{ls} = \begin{cases} IDFT[\hat{h}_{ls}] & 0 \leq n \leq L-1 \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (20)$$

بتطبيق تحويل فورييه نحصل على :

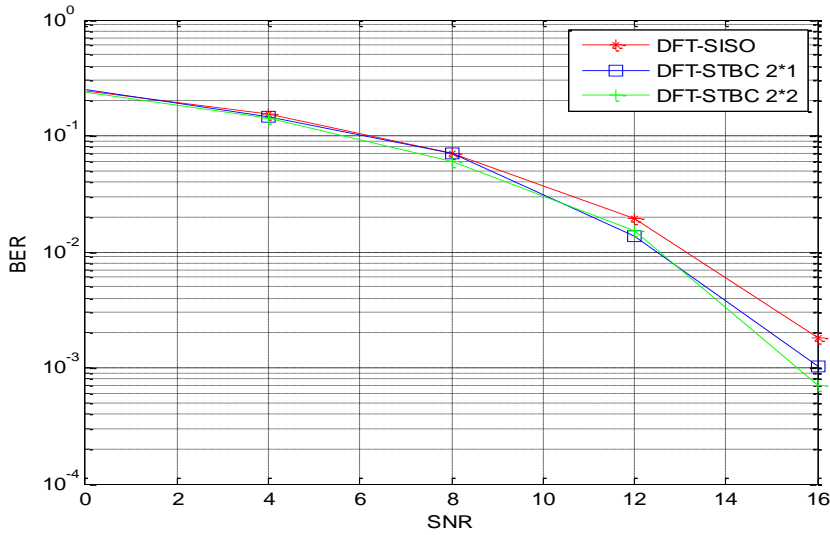
$$\hat{h}_{DFT-LS} = DFT[\hat{H}_{ls}] \quad (21)$$

سنقوم الآن بدراسة أداء هذه الطريقة عند استخدام شفرات STBC في نظام MIMO من أجل حالتين $(2*1)$ و $(2*2)$.

أولاً: من أجل بيئة خفوت تتسم بزمن تأخير انتشار عالي:

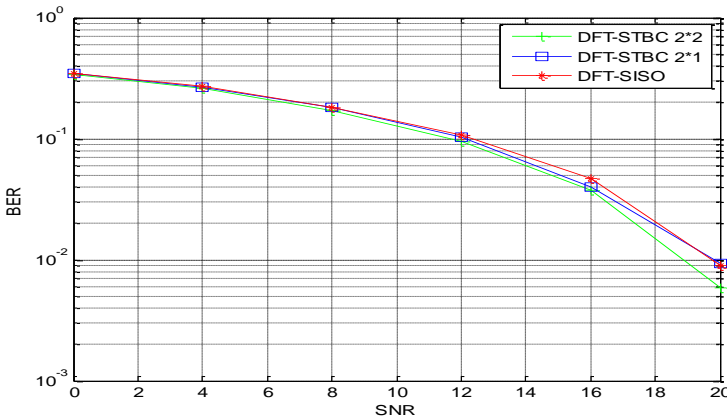
نقوم الآن بأجراء محاكاة باستخدام برنامج الماتلاب ورسم منحنى الخطأ BER عند استخدام هذه الطريقة وسنعمد نفس البارامترات السابقة ومن أجل زمن تأخير انتشار $\tau_{rms} = 8\mu s$.

A. من أجل رموز معطيات بتعديل QPSK :



الشكل (10) خطأ BER عند استعمال طريقة DFT عند عدم وجود تعدد (SISO) وعند استعمال STBC في كلا الحالتين $1*2$ و $2*2$ وذلك من أجل تعديل QPSK

B. من أجل رموز معطيات بتعديل 16QAM:

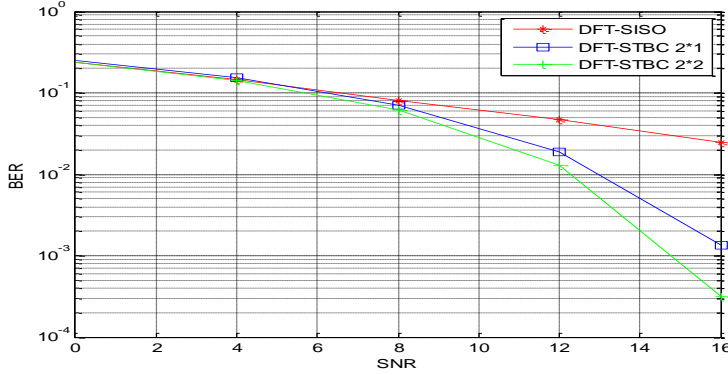


الشكل (11) خطأ BER باعتماد طريقة DFT عند عدم وجود تعدد (SISO) وعند استعمال STBC في كلا الحالتين $1*2$ و $2*2$ وذلك من أجل تعديل 16QAM

ثانياً: من أجل بيئة خفوت تتسم بتردد دوبلر مرتفع

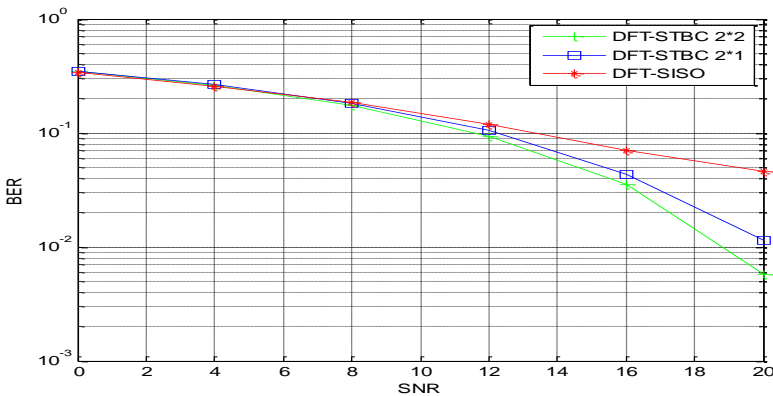
باعتقاد نفس البارامترات السابقة مع تردد دوبلر مرتفع $f_d = 35\text{Hz}$.

A. من أجل رموز معطيات بتعديل QPSK:



الشكل (12) خطأ BER عند استعمال طريقة DFT عند عدم وجود تعدد (SISO) وعند استعمال STBC في كلا الحالتين $1*2$ و $2*2$ وذلك من أجل تعديل QPSK

B. من أجل رموز معطيات بتعديل 16QAM:



الشكل (13) خطأ BER باعتماد طريقة DFT عند عدم وجود تعدد (SISO) وعند استعمال STBC في كلا الحالتين $1*2$ و $2*2$ وذلك من أجل تعديل 16QAM

نستنتج من المخططات (9,10,11,12) أن شفرة STBC تحسن من أداء طريقة DFT من أجل تردد دوبلر مرتفع بشكل واضح بينما يبقى التحسين محدوداً من أجل زمن تأخير انتشار عالي.

3- طريقة (LMMSE) Liner minimum mean square error لتخمين القناة (Wiener Filtering):

تستخدم هذه الطريقة خصائص القناة (الترابط الزمني والترابط الترددي) لتقدير تابع استجابة القناة غير المعلومة عند الحوامل الفرعية التي لا تحوي الإشارات الدليلية انطلاقاً من الترابط بين هذه الحوامل والحوامل التي تحمل الإشارات الدليلية [11].

أي أن هذه الخصائص يجب أن تكون معروفة عند المستقبل ليتم التخمين بشكل مثالي،

تعطى استجابة القناة باستخدام طريقة LMMSE (H_{lmmse}) بدلالة H_{LS} [12]:

$$\hat{H}_{lmmse} = \{R_h (R_h + \sigma^2 (XX^H)^{-1})\}^{-1} \hat{H}_{ls} \quad (22)$$

حيث \hat{H}_{ls} هي استجابة القناة المخمّنة بطريقة (LS) Least Square.

R_h هي مصفوفة الترابط الذاتي بين الترددات التي تحمل الإشارات الدليلية.

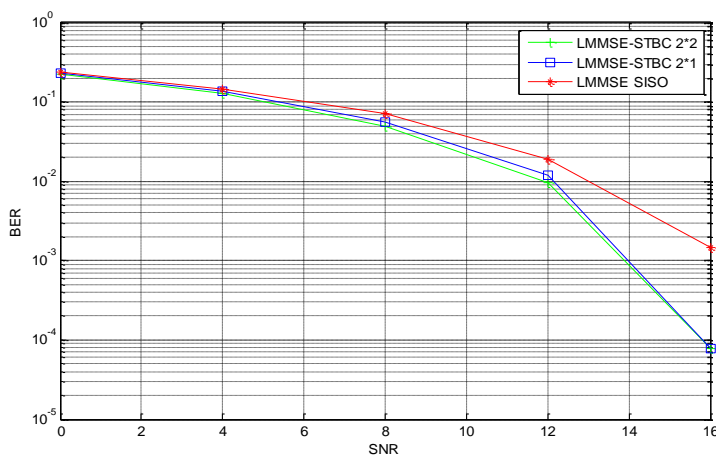
σ^2 هي تشتت الضجيج من أجل كل حامل فرعي.

أولاً: من أجل بيئة خفوت تتسم بزمن تأخير انتشار عالي :

سنقوم الآن بأجراء محاكاة باستخدام برنامج الماتلاب ورسم منحنى الخطأ BER عند استخدام طريقة تخمين هذه وسنعمد في دراستنا نفس البارامترات السابقة ومن أجل زمن

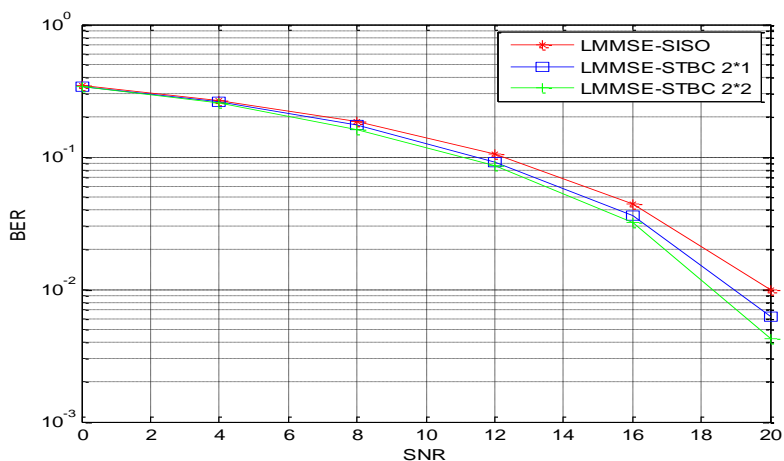
$$\tau_{rms} = 8\mu s$$

A. من أجل رموز معطيات بتعديل QPSK:



الشكل (14) خطأ BER باعتماد طريقة LMMSE عند عدم وجود تعدد (SISO) وعند استعمال STBC في كلا الحالتين $1*2$ و $2*2$ وذلك من أجل تعديل QPSK

B. من أجل رموز معطيات بتعديل 16QAM



الشكل (15) خطأ BER عند استعمال طريقة LMMSE عند عدم وجود تعدد (SISO) وعند استعمال STBC في كلا الحالتين $1*2$ و $2*2$ وذلك من أجل تعديل 16 QAM

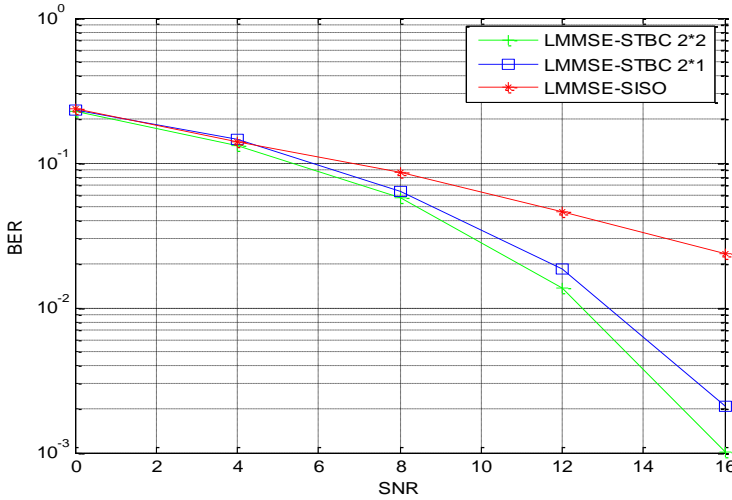
نستنتج من الأشكال (13,14) أن التعدد مع شفرات STBC تحسن من أداء طريقة LMMSE بشكل أكبر من طريقة LS و DFT عند زمن تأخير انتشار مرتفع

ثانياً: من أجل بيئة خفوت تتسم بتردد دوبلر مرتفع

باعتداف نفس البارامترات السابقة مع تغير بارامترات بيئة الخفوت؛ حيث سندرس حالة

$$f_d = 35 \text{ Hz} .$$

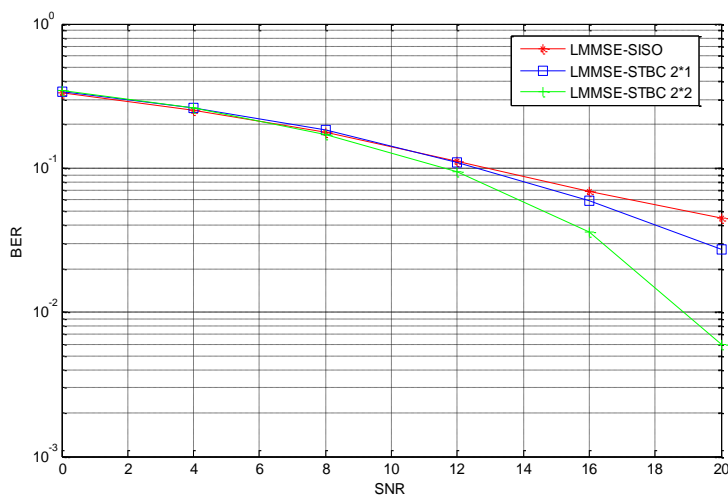
A. من أجل رموز معطيات بتعديل QPSK:



الشكل (16) خطأ BER باعتماد طريقة LMMSE عند عدم وجود تعدد (SISO) وعند استعمال

STBC في كلا الحالتين 2*2 و 2*2 وذلك من أجل تعديل QPSK

B. من أجل رموز معطيات بتعديل 16QAM:



الشكل (17) خطأ BER باعتماد LMMSE عند عدم وجود تعدد (SISO) وعند استعمال

STBC في كلا الحالتين 1×2 و 2×2 وذلك من أجل تعديل 16 QAM

يبين الشكلين (15,16) أن استخدام التعدد مع شفرات STBC يحسن أيضاً بدرجة كبيرة أداء طريقة LMMSE عند تردد دوبلر العالي.

8- النتائج والمقترحات:

تم دراسة أداء نظام MIMO-OFDM عند استعمال شفرات STBC ، وإجراء محاكاة للنظام عند اعتماد عدد من طرائق تخمين القناة، وتبين أن استخدام شفرة STBC يحسن الأداء عند استخدام طريقة التخمين LS و طريقة التخمين المعتمدة على DFT بشكل بسيط من أجل زمن تأخير انتشار مرتفع، ويزداد هذا التحسن عند اعتماد طريقة LMMSE لتأخير القناة.

يكون التحسن في الأداء أكبر عند استعمال هوائيين في الاستقبال، ولكن مع زيادة التعقيد والكلفة عند المستقبل.

كما تحسن شفرة STBC من أداء طرائق التخمين المدروسة كلها بشكل كبير من أجل تردد دوبلر مرتفع، أي يمكن اعتمادها في بيئات الخفوت السريع التي تكون فيها سرعة دوبلر B_d أكبر من عرض حزمة القناة W ، أي عندما يكون الزمن المتماسك T_c أصغر من زمن الرمز للإشارة T_s .

نقترح البحث في الشفرات التي تحسن الأداء بشكل أكبر عند زمن تأخير انتشار عالي كالشفرات البلوكية المفصولة ترددياً، كما نقترح البحث بالشفرات التشعبية ودراسة طرائق تخفيض تعقيدها.

9- المراجع:

- [1]Anibal Luis Intini ,2000-Orthogonal Frequency Division Multiplexing For Wireless Network Standard IEEE 802.11a,University of California.
- [2] Heiskala . j , Terry . j , - OFDM Wireless LANs – A Theoretical and Practicl Gide
- [3]A Molisch ,Wireless Communications. Wiley–IEEE Press,2005 .
- [4] T.Kaiser ,''Smart antenna–State of art'', Hindawi Publishing Corp–2005
- [5] R . v .Nee ,R .Parsad ,2000- OFDM for wireless multimedia communication , Artich House ,London.
- [6] Luis Miguel Cortes-Pena, "MIMO Space time block coding (STBC):Simulation and Results" ,Cortes-Pena EC6604 Personal and Mobile Communications presented to Dr Jordan stuber, April-2009 .
- [7] Wang.L , Akhtman.j , Jiang.M, 2011- MIMO-OFDM for LTE, Wi-Fi and WiMAX.
- [8] D.Gesbert,M.Shafi,D.Shiu,P.Smith,and A. Naguib," From Theory to Practice : An Overview of MIMO Space-Time Coded Wireless Systms",IEEE Journal on selected areas in Communications,vol.21,no.3,pp.281-302,2003 .
- [9]Marc Engels, 2002- Wireless OFDM Systems: How to make them work?. Kindle Edition.
- [10]Jun-heeJang,Se-bin Im,Jeog-soon Park,Hyung-jin Choi,14th 2008, DFT-based decision directed channel estimation for OFDM systems in very large delay spread channels.

[11]Jie Ma, HuaYa, Shouyinliu, 2009- The MMSE Channel Estimation Based on DFT for OFDMSystem .

[12]Samuel.c.young,2010-OFDMA System Analysis and Design, ,Artech House, Boston, London.