

تقييم أداء أنظمة الاتصالات اللاسلكية المدعومة بتقنية الأسطح العاكسة الذكية

إسراء الأرباح قسم الهندسة الكهربائية والإلكترونية، جامعة مصراتة، مصراتة، ليبيا.	سجي جحا قسم الهندسة الكهربائية والإلكترونية، جامعة مصراتة، مصراتة، ليبيا.	منى أبوليفة قسم الهندسة الكهربائية والإلكترونية، جامعة مصراتة، مصراتة، ليبيا.	عمر أبو علة قسم الهندسة الكهربائية والإلكترونية، جامعة مصراتة، مصراتة، ليبيا. omarabuella@eng.misuratau.edu.ly
------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

هذه الأسطح الذكية على إنشاء مسار مباشر افتراضي (VLOS) لتجاوز الحواجز في المسار المباشر الواقعي عن طريق الانعكاس الذكي، مما يساهم في تشكيل مسارات إشارة إضافية نحو الاتجاه المرغوب فيه لتحسين حالة القناة. باستخدام عدد كبير من هذه العواكس وتنسيق انعكاساتها بذكاء بحيث يكون كل عنصر قادر بشكل مستقل على عكس الإشارة بزوايا واتساع يمكن التحكم به، عندها يمكن معالجة ضعف القناة اللاسلكية وتلافي التداخل والحصول على تحسن في موثوقية وسعة وكفاءة الطاقة بالنظام [2].

ب. الهيكيلية الأساسية للسطح العاكس الذكي:

بشكل عام هو سطح مستوي يضم عدداً كبيراً من العناصر العاكسة المصنوعة من المواد المتحورة، وكما هو موضح بالشكل (1- أ) يتكون السطح العاكس من ثلاث طبقات ووحدة تحكم ذكية، طبقة خارجية، تتكون من عدد كبير من العناصر، وهي عبارة عن رقعة معدنية قابلة للضبط ومطبوعة على ركيزة عازلة للكهرباء، يمكن وصفها بأنها هوائي صفيح من النوع الشريطي (الرقعي). الطبقة الثانية عادة ما تكون صفيحة نحاسية الغرض منها تقليل تسرب طاقة الإشارة أثناء انعكاسها، أما الطبقة الداخلية فهي لوحة دائرة التحكم، وظيفتها إثارة العناصر العاكسة بحسب زاوية الانعكاس المطلوبة من كل منها. يلي هذه الطبقات وحدة تحكم ذكية متصلة بالسطح العاكس بالكامل وتقوم بضبط الانعكاس وتحديد، ويمكن تصميمها كمصفوفة من البوابات القابلة للبرمجة (Field Programmable Gate Array). وتعمل أيضا كبوابة للتواصل مع مكونات الشبكة الأخرى مثل نقاط الاتصال والمستخدم من خلال وصلات التحكم اللاسلكي. يتم التحكم في زوايا الانعكاس للعناصر عن طريق المكونات الإلكترونية (مثل الترانزستورات و الثنائيات) حيث تتميز بالاستجابة السريعة، وفقد الانعكاس المنخفض، فضلا عن الاستهلاك المحدود نسبياً للطاقة ورخص تكلفتها [2]. يوضح الشكل (1- ب) مثالا لتصميم العنصر العاكس ودائرته المكافئة المكونة من ثنائي من نوع PIN يتم تحميله في مركز العنصر العاكس. حيث تعتبر ثنائيات (PIN Positive-Intrinsic-Negative) مكونات إلكترونية شبه موصلة يمكن تبديلها بين حالتها التشغيل. يكون الثنائي PIN في وضع التشغيل، فإنه يعمل بمثابة دائرة قصر، وعندما يكون في حالة إيقاف التشغيل، فإنه يعمل كدائرة مفتوحة كما هو موضح في الشكل (1- ج)؛ ما يتيح للعنصر أن ينتج فرقاً في الطور بمقدار π في

المخلص— تتمتع الأسطح العاكسة الذكية (IRS) بإمكانية تحقيق المفهوم الناشئ للبيئات الراديوية الذكية، نظراً لقدرتها على التحكم في قناة الاتصال وتحسين أداء النظام، لذا ينظر إليها على أنها أحد الهياكل الأساسية لتحقيق أهداف شبكات الجيل السادس. تدرس هذه الورقة أداء النظم اللاسلكية التي تعمل بمساعدة الأسطح العاكسة الذكية لتلافي المشاكل المتعلقة بالحجب وذلك من خلال تقييم تأثيرها على المعايير التالية: كفاءة الطيف، منطقة التغطية، كفاءة الطاقة، ومعدل الخطأ في البيانات ومقارنة النتائج بإداء نظام ينعدم فيه خط الاتصال المباشر ويكون الربط معتمد على انعكاسات الإشارة من المشتتات الطبيعية المنتشرة عشوائياً في بيئة الاتصال.

الكلمات المفتاحية— كفاءة الطيف، كفاءة الطاقة، احتمال انقطاع التغطية، احتمال الخطأ في البيانات، الاتصالات اللاسلكية بمساعدة (IRS).

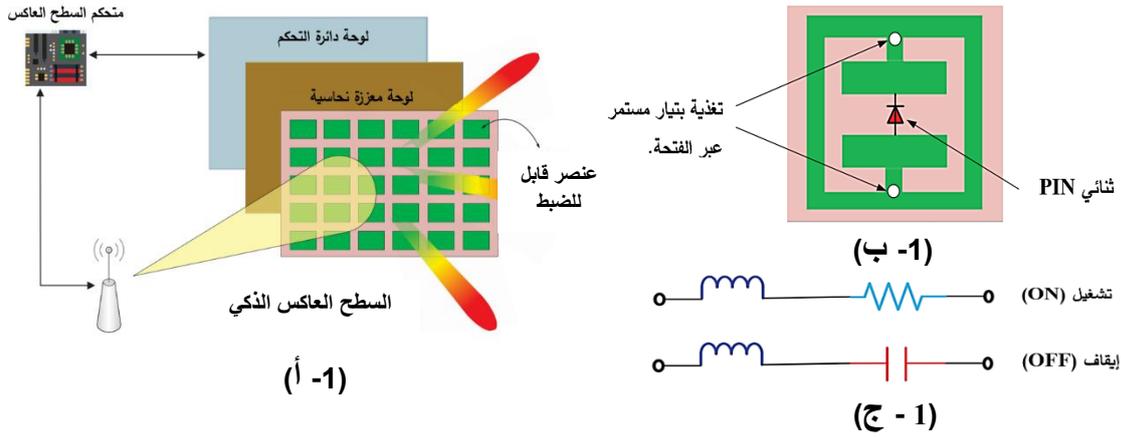
1 المقدمة

بسبب المتطلبات المتزايدة على معدلات ترانس أعلى خصوصاً في الجيل التالي للاتصالات (6G)؛ ستزداد الحاجة إلى استخدام ترددات أعلى لتحقيق الأهداف المرجوة، ومعها ستزيد حساسية الإشارة من العوائق التي تؤدي لزيادة انقطاع الخدمة على المستخدم في مسار الاتصال المباشر (Virtual Line of Sight (VLoS). تم مؤخراً تقديم فكرة الأسطح الذكية القابلة لإعادة التهيئة (RIS) Reconfigurable Intelligent Surfaces العاكسة الذكية (IRS) المصنوعة من بعض المواد المتحورة meta-materials على أنها التقنية الواعدة والتي ستحقق الهدف المنشود، وذلك بتوفيرها مسار مباشر افتراضي بين نقطة الاتصال والمستخدم، وبذلك سيتمكن التحكم في القناة وتقليل آثار العشوائية بها [1].

أ. آلية عمل الأسطح العاكسة الذكية:

السطح العاكس الذكي هو تقنية تمكن من التحكم في انتشار الإشارات الراديوية في الشبكات اللاسلكية، تعتمد فكرة عمل

استلمت الورقة بالكامل في 29 مايو 2024 وروجعت في 27 سبتمبر 2024
وقبلت للنشر في 27 يناير 2025
ونشرت ومتاحة على الشبكة العنكبوتية في 29 يناير 2025



الشكل (1): بنية السطح العاكس الذكي [2]

الضوضاء الناتجة من بيئة الانتشار، حيث $w \sim \mathcal{CN}(0, N_0)$ عينة ضوضاء جاوس البيضاء المضافة (AWGN)، و N_0 هو تباين الضوضاء وهو يعبر عن الكثافة الطيفية للضوضاء. H يمثل معامل كسب القناة الكلية من المرسل إلى السطح الذكي إلى المستقبل، وهي هنا مصفوفة وحيدة العنصر كحالة خاصة بسبب أن كلا من المرسل والمستقبل مجهزين بهوائي واحد، ويمكن تمثيل القناة بالمعادلة التالية:

$$H = g^T \theta h \quad (3)$$

حيث أن h هي معامل القناة من المرسل إلى السطح العاكس وهي صفييف بحجم $1 \times N$ ، وعناصرها أعداد مركبة تمثل بمقدار وزاوية كما هو موضح بالمعادلة:

$$h = a_n e^{-i\xi_n} \quad (4)$$

حيث ξ_n هي زاوية فرق الطور الناتج بسبب العوائق والمسافة $(d_{h,n})$ ، وهي المسافة بين المحطة القاعدية والعنصر n من عناصر السطح العاكس، و a_n يمثل الاتساع ويساوي:

$$a_n = \Psi_h (\lambda/4\pi d_{h,n})^{\rho/2} \quad (5)$$

حيث Ψ_h متغير يتبع توزيع رايلي، λ الطول الموجي للإشارة الحاملة، ρ أس أو معامل تخميد المسار وهو يعتمد على بيئة الانتشار ويساوي 2 في الفراغ الحر [6]. g تمثل معامل القناة من السطح العاكس إلى المستقبل، وهي صفييف بحجم $1 \times N$ ، وبالتالي سكون حجم g^T هو $1 \times N$ وعناصرها يُعبر عنها بعدد مركب يُمثل بمقدار وزاوية كما في المعادلة التالية:

$$g = b_n e^{-i\zeta_n} \quad (6)$$

حيث ζ_n هي زاوية فرق الطور الناتج بسبب المسافة $(d_{g,n})$ ، وهي المسافة بين العنصر n من عناصر السطح العاكس إلى المستقبل، و b_n يمثل الاتساع ويساوي:

الإشارة الداخلة كما يمكن أن يصل تردد تبديل هذا الثنائي إلى 5MHz وهو ما يتوافق مع وقت التبديل 0.2 ميكروثانية وهذا الزمن أصغر بكثير من زمن الترابط (T_c) النموذجي للقناة الذي يكون في حدود مللي ثانية ويرتبط عدد الأطوار التي يمكن أن يعكسها العنصر بعدد الثنائيات المرتبطة به، ويتم تمثيلها بالمعادلة التالية [3]:

$$M = 2^m \quad (1)$$

حيث: M تمثل عدد الأطوار الممكنة، و m تمثل عدد الثنائيات.

2 الوصف الرياضي للنظام

في هذا الجزء تم عرض النموذج الرياضي الذي تم العمل وفقه لمحاكاة نظام اتصال قائم على نظرية التشتت يُنشر خلاله سطح عاكس ذكي يحتوي على عدد N من العواكس الخاملة (ذات الاستهلاك المحدود للطاقة) القابلة للضبط؛ للحصول على مسار مباشر افتراضي لانتشار الإشارة بين المحطة أو نقطة الوصول للشبكة والمستقبل.

في هذه الورقة سيتم فرض أن نظام الاتصالات يعمل بنطاق ترددي ضيق عند تردد موجة حاملة معينة، وهذا لتيسير النمذجة. كما أننا سنهمل تأثير عيوب الأجهزة مثل اللاخطية في عمل الدوائر الإلكترونية وضوضاء الطور، حيث تم الاستناد في الوصف الرياضي لهذا السيناريو على كل من المراجع التالية: [2]، [4]، [5].

أ. نموذج الإشارة والقناة:

تم فرض وجود هوائي واحد في طرف الإرسال والاستقبال (SISO)، وبالتالي يمكن التعبير عن الإشارة المستلمة عند المستقبل بمساعدة السطح الذكي كالتالي:

$$y = \sqrt{P_t} Hx(t) + w \quad (2)$$

حيث P_t هي إجمالي القدرة المرسل بالواط. $x(t)$ تمثل الإشارة المراد إرسالها، وسيتم التركيز في هذا البحث على التضمين بإزاحة الطور الثنائي (BPSK). w تعبر عن

$$P_s^{Rx} \propto 1/(d_{h,n} d_{g,n})^2 \quad (13)$$

بمعنى آخر، تعاني الإشارة المنعكسة عبر العاكس n من فقدان المسار المزدوج؛ ولكن مع زيادة عدد العناصر العاكسة يعوض هذا الفقد [9][2].

$$b_n = \Psi_g(\lambda/4\pi d_{g,n})^{p/2} \quad (7)$$

حيث Ψ_g متغير يتبع توزيع رايلي. θ بالمعادلة (3) تمثل مصفوفة معاملات الانعكاس للسطح العاكس، ويمكن التعبير عنها بالمعادلة:

$$\theta = \beta_n e^{i\alpha_n} \quad (8)$$

وهي مصفوفة قطرية بحجم $N \times N$ ، وذلك نتيجة لفرض ألا وجود لأي ترابط بين عناصر السطح العاكس، أي أن جميع العواكس تعكس الإشارة بشكل مستقل، تتكون من مركب طور α_n وكسب β_n ، حيث أن الطور المتحكم فيه يأخذ قيم $[\xi_n + \zeta_n]$ لكن بإشارة معاكسة؛ لينتج عنه جمع بناء للإشارات متعددة المسارات عند جهاز الاستقبال بالإضافة لإحداث تأخير صغير جداً للإشارة أثناء المعالجة. β_n تمثل التخميد (الفقد) حيث $\beta_n \in [0, 1]$ ؛ لأن العواكس غير فعالة أي لا تحدث تضخيم، وبفرض أن معاملات الانعكاس لها أقصى كفاءة، لذا يمكن وضع $\beta_n = 1$.

ب. دراسة ميزانية القدرة:

تمثل المعادلة (9) القدرة المستلمة عند العنصر n من عناصر السطح العاكس [7]:

$$P_n^{RIS} = \frac{P_t G_t G_e^{BS} \lambda^2}{(4\pi)^2 d_{h,n}^2} \quad (9)$$

حيث G_t كسب هوائي الإرسال، و G_e^{BS} هو كسب العنصر n في اتجاه المحطة القاعدية.

وبالاستدلال على المسافة الفاصلة بين العنصر n من عناصر السطح العاكس والمستخدم (R_x) بالكمية $d_{g,n}$ ، يتم حساب القدرة المستلمة عند المستقبل على النحو التالي [7]:

$$P_n^{Rx} = \frac{P_n^{RIS} G_e^{Rx} G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d_{g,n}^2} = \frac{P_t G_t G_e^{Rx} G_e^{BS} G_r \lambda^4}{(4\pi)^4 d_{g,n}^2 d_{h,n}^2} \quad (10)$$

حيث أن G_r كسب هوائي الاستقبال، و G_e^{Rx} هو كسب العنصر n في اتجاه المستقبل، وتجدر الإشارة إلى أن الكسب المرجعي لعناصر السطح العاكس يعتمد على مساحته الفعالة [8]. للتبسيط تم فرض التالي:

$$G_t = G_r = 1, G_e^{BS} = G_e^{Rx} = 1$$

بالتالي ستصبح المعادلة (10) على الصورة:

$$P_n^{Rx} = \frac{P_t \lambda^4}{(4\pi)^4 d_{h,n}^2 d_{g,n}^2} \quad (11)$$

وهكذا يمكن تمثيل القدرة الكلية عند جهاز الاستقبال من خلال:

$$P_s^{Rx} = \sum_{n=1}^N P_n^{Rx} = N^2 P_n^{Rx} \quad (12)$$

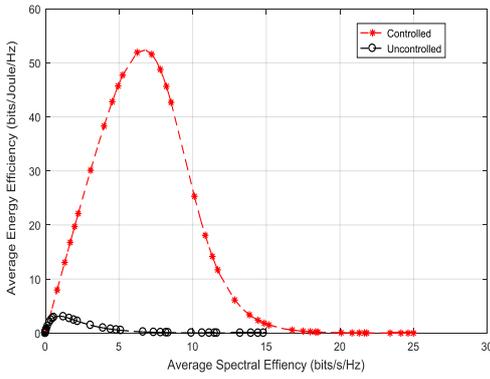
أي أنه تم الحصول على كسب يُقدر بمربع عدد العناصر N^2 ، ويتضح من المعادلة أن P_s^{Rx} تتناسب عكسياً مع مربع $d_{g,n}$ و $d_{h,n}$ كالتالي:

3 المحاكاة والنتائج

في هذا البحث تم محاكاة بيئتي اتصال لاسلكي تحتوي الأولى على محطة إرسال ومستقبل، وسطح عاكس ذكي (متحكم فيه). بالإضافة إلى بيئة أخرى ذات نفس الخصائص ولكن دون استخدام سطح عاكس ذكي (أي أن الانعكاسات غير متحكم بها)، كما يجب الإشارة إلى أن معظم النتائج تعتمد على قيم المعلمات التالية، مالم يذكر خلاف ذلك: قدرة الضوضاء للقناة تقدر بحوالي (131-) ديسيبل، إجمالي القدرة المبددة تقدر بـ (0.1) واط، وكسب هوائي الإرسال والاستقبال يساوي 1، السطح العاكس به 16 عنصر، ويبعد عن المحطة القاعدية مسافة 75 متراً، وعن المستخدم بمسافة 25 متر. وذلك لغرض دراسة أداء النظام، وتحديد التحسينات المتوقعة من هذه التقنية. سيتم تقييم الأداء من عدة جوانب باستخدام المعايير التالية: الكفاءة الطيفية، احتمال الانقطاع، كفاءة الطاقة، معدل الخطأ في البيانات، كما سنتطرق إلى تحديد الموقع الأمثل لنشر السطح العاكس.

أ. الكفاءة الطيفية للنظام:

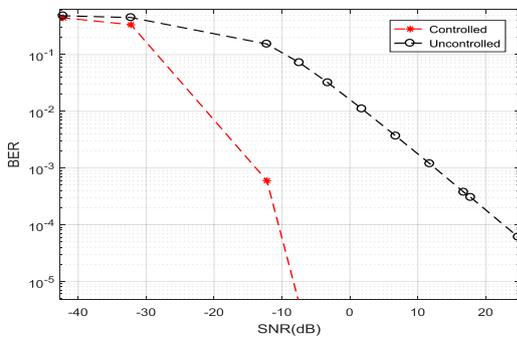
تم في هذا الجزء تقدير الكفاءة الطيفية الممكن تحقيقها باستخدام نظام يستخدم تقنية الأسطح العاكسة الذكية ومقارنتها بالكفاءة الطيفية لنظام اتصال تقليدي لا يتحكم في انعكاسات الأشعة متعددة المسارات، ويوضح الشكل (2) مخطط كفاءة الطيف لنظامين، والذي يُبين أن كفاءة الطيف لنظام لاسلكي مدعوم بسطح عاكس ذكي يُظهر تحسناً كبيراً مقارنة بنظام لاسلكي غير مدعوم بهذه التقنية؛ هذا التحسن ناتج إلى عمل السطح العاكس الذكي على إلغاء أثر الخبو الناتج من تشتت الإشارة عبر المسارات المتعددة، حيث يعالج الشعاع الساقط عليه بإزاحة طور الشعاع بمقدار معاكس للانحراف الناتج عن خبو القناة من نقطة الإرسال إلى جهاز الاستقبال، ما يجعل الإشارات الواصلة عبر المسارات المتعددة تُجمع جمعاً بناءً بشكل تام. وهذا يختلف عن الأثر الذي تُحدثه المشتتات الطبيعية. إذ أن اختلاف الأطوار به قد يؤدي لحدوث جَمْع هدام يُخفّض من شدة الإشارة الملتقطة. كما يلاحظ من الشكل أن التحسن الناجم عن استخدام السطح العاكس الذكي يتباين باختلاف المسافة بين السطح العاكس والمستقبل. قد يكون تأثير السطح العاكس أفضل في المسافات الكبيرة عن المسافات الصغيرة، فعلى سبيل المثال، يُوضّح الشكل (2)، أن نسبة التحسن عند مسافة 200 متر تصل إلى أكثر من 200%، وأما التحسن في المسافات الصغيرة مثلاً عند مسافة 50 متر يقدر بحوالي 100% ولكن نلاحظ أن بعد مسافة 300 متر تقل الفجوة بين النظامين بسبب تخميد الانتشار المرتفع. ويعود هذا التحسن الملحوظ عند المسافات البعيدة المحدودة إلى قدرة السطح العاكس على تعويض توهين وتشتت الإشارة الناتج عن بيئات الانتشار المختلفة.



الشكل (4): كفاءة الطاقة

ب. معدل الخطأ في البيانات:

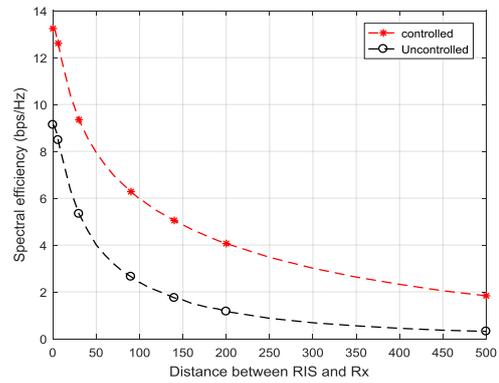
تم محاكاة معدل الخطأ في نقل البيانات للنظامين المأخوذين في الاعتبار وذلك عند استخدام التضمين بالترميز الثنائي لإزالة الطور وبدون استخدام تقنيات التشفير، ومن النتائج الموضحة بالشكل (5)، يلاحظ تفوق أداء النظام المدعوم بسطح عاكس ذكي على نظيره التقليدي، وهذه النتيجة تُعزى أيضاً إلى قدرة النظام الأول على التحكم في بيئة الانتشار، ممّا يزيد بشكل كبير من موثوقية النظام. حيث كما يشاهد من الشكل أنه يلزم أن تكون قدرة الإشارة إلى الضوضاء في حدود العشر أي بمعنى 10-ديسيبل، للحصول على معدل خطأ في حدود 10^{-4} (أي خطأ لكل 10 آلاف بت مرسل)، وللحصول على نفس معدل الخطأ في النظام التقليدي نحتاج إلى مضاعفة قدرة الإشارة ألف مرة، ما يعني الحاجة إلى كسب تضخيم إضافي يقدر بحوالي 30 ديسيبل، وبالتالي يتضح أن استخدام العديد من العناصر الذكية في السطح العاكس يسهم بشكل كبير في تحسين موثوقية النظام، خصوصاً في البيئات والنظم محدودة الطاقة.



الشكل (5): معدل الخطأ في البت

ب. الموقع الأمثل للسطح العاكس:

في هذا الجزء نستعرض نتائج هذه الدراسة والتي تُميز أثر تغيير موقع السطح العاكس الذكي على الكفاءة الطيفية للنظام حيث تم فرض أن الإحداثي الكارتيزي بالأمتار للمحطة القاعدية والمستقبل عند (0, 0) و (20, 100) على التوالي، مع تغيير إحداثيات السطح العاكس الذكي ابتداءً من الموقع المحدد للمحطة القاعدية إلى موقع المستقبل، وبفرض أن السطح العاكس مكون من 64 عنصراً. يُلاحظ من النتائج الموضحة بالشكل (6) أن تموضع السطح العاكس عند الطرفين أي بالقرب من المرسل أو المستقبل يحقق أعلى كفاءة طيف، بينما الكفاءة في منتصف المسافة بين المرسل والمستقبل تكون في أسوأ حالاتها، وذلك بسبب تخميد المسار

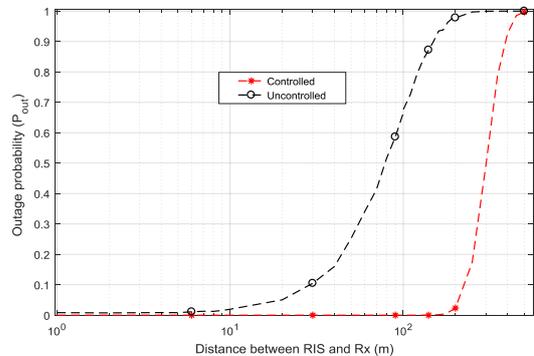


الشكل (2): كفاءة الطيف عند اختلاف المسافة بين السطح العاكس والمستقبل

فياستخدامه يمكن إعادة توجيه الإشارة نحو المستقبل بشكل كامل، مما يزيد من قوة الإشارة الملتقطة وبذلك تتحسن كفاءة الطيف الترددي. أما في حالة الاتصالات قصيرة المدى، فلا تتعرض الإشارة لتوهين أو تشتت كبير، وبذلك يكون التحسن باستخدام السطح العاكس الذكي أقل استيعاباً.

أ. مدى التغطية واحتمال الانقطاع

في هذا الجزء سيتم تبيان دور السطح العاكس الذكي في الحفاظ على التغطية، النتائج في المحاكاة تم الحصول عليها من محاكاة نظامين أحدهما يستخدم تقنية السطوح العاكسة والأخر نظام تقليدي تحت نفس ظروف التشغيل لتقييم منطقية التغطية واحتمال الانقطاع وذلك عندما كان معدل التراسل المستهدف 3bps/Hz ، ومن النتائج كما في الشكل (3) نجد أنه بفرض ألا يزيد احتمال الانقطاع عن 5% فإن مسافة التغطية للنظام الذي يستخدم السطوح العاكسة تكون في حدود 300 متراً، في حين أن منطقة التغطية للنظام التقليدي لا تزيد عن 20 متراً.



الشكل (3): احتمال انقطاع التغطية عند المستخدم

أ. كفاءة الطاقة:

كفاءة الطاقة لنظام لاسلكي مدعوم بسطح عاكس ذكي يتكون من 1000 عنصر عاكس، يظهر تحسناً ملحوظاً يصل التحسن إلى حوالي 50 ضعفاً مقارنة بنظام لاسلكي من غير سطح عاكس ذكي كما هو ظاهر في الشكل (4)؛ يرجع سبب التحسن إلى عمل السطح العاكس الذكي على عكس الإشارات ومعالجتها بطريقة تعزز من قوتها وجودتها، دون الحاجة إلى استهلاك إضافي للطاقة نظراً لطبيعة عناصره الخاملة. من وجهة نظر أخرى، فمن الواضح من الشكل (4) أن تقنية الأسطح الذكية بالإضافة إلى أنها دائماً ما تنتج كفاءة أعلى للطاقة، فإنها كذلك تعطي أحسن كفاءة تشغيل عند معدلات ترسل أعلى بأضعاف مقارنة بالنظام التقليدي.

Transactions on Communications, vol. 69, no. 5, pp.3313-3351, May 2021, doi: 10.1109/TCOMM.2021.3051897.

[3] Zhang, Hongliang & Di, Boya & Song, Lingyang & Han, Zhu. (2021). Reconfigurable Intelligent Surface-Empowered 6G, *Springer*. 1st edition, (2021), ISBN-13:978-3030734985. 10.1007/978-3-030-73499-2.

[4] E. Basar and I. Yildirim, "SimRIS Channel Simulator for Reconfigurable Intelligent Surface-Empowered Communication Systems," 2020 IEEE Latin-American Conference on Communications (LATINCOM), Santo Domingo, Dominican Republic, 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/LATINCOM50620.2020.9282349.

[5] I. Yildirim, A. Uyrus and E. Basar, "Modeling and Analysis of Reconfigurable Intelligent Surfaces for Indoor and Outdoor Applications in Future Wireless Networks," in IEEE Transactions on Communications, vol. 69, no. 2, pp. 1290-1301, Feb. 2021, doi: 10.1109/TCOMM.2020.3035391.

[6] Theodore Rappaport. 2001. Wireless Communications: Principles and Practice (2nd. ed.). Prentice Hall PTR, USA, ISBN-13:978-0130422323.

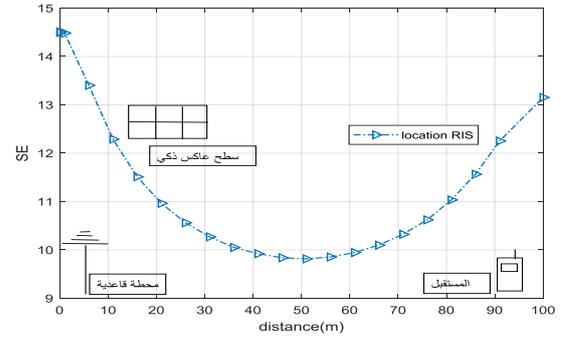
[7] Hao Jiang and Guan Gui. 2019. Channel Modeling in 5G Wireless Communication Systems (1st. ed.). Springer Publishing Company, ISBN-13:978-3030328689.

[8] S. W. Ellingson, "Path Loss in Reconfigurable Intelligent Surface-Enabled Channels," 2021 IEEE 32nd Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), Helsinki, Finland, 2021, pp. 829-835, doi:10.1109/PIMRC50174.2021.9569465.

[9] Wu, Q. and Zhang, R. "Towards Smart and 9G Reconfigurable Environment: Intelligent Reflecting Surface Aided Wireless Network", *IEEE Communications Magazine*, **58**(1), 106-112, (2020), doi: 10.1109/MCOM.001.1900107.

المزودج، إذ أن أعلى فقد مسار كلي يكون عند تموضع السطح العاكس في منتصف المسافة بين المرسل والمستقبل.

كما يمكن ملاحظة أن تموضع السطح العاكس طرفياً يمكن أن يكون بديلاً لتقنيات تشكيل الشعاع (Beamforming)، مما يسمح باستخدام أكثر كفاءة لعرض النطاق الترددي المتاح ويقلل من التداخل، وهي بذلك تعمل بشكل مشابه للنظم متعددة الهوائيات في طرف واحد SIMO/MISO؛ لكن تكلفة النظام ذو السطح العاكس أقل لانفصاله عن المحطة القاعدية وجهاز الاستقبال وعدم احتياجه لقدرة إضافية.



الشكل (6): الموقع الأمثل للسطح العاكس الذكي

4 الخلاصة

تم في هذه الورقة إعطاء نبذة مبسطة عن تقنية السطوح العاكسة الذكية ومكوناتها الأساسية وآلية عملها. ثم تم استعراض الوصف الرياضي الذي يحاكي النظم اللاسلكية المدعومة بهذه التقنية. ومن بعد ذلك تم سرد ومناقشة النتائج التي تحصلنا عليها من خلال تقييم أداء نظام اتصالات لاسلكي يعتمد على تقنية السطح العاكس الذكي ومقارنته بأداء نظام لاسلكي تقليدي. ومن خلال ما وجدناه في هذا البحث يمكن القول، أن تقنية الأسطح العاكسة الذكية تعتبر حلاً واعداً للتغلب على آثار الحجب وعشوائية القناة؛ وذلك لكونها توفر مسارات متحكمات فيها لتحقيق الجمع البناء لمركبات الإشارة عند طرف الاستقبال حتى في البيئات التي المكتظة بالمشتتات العشوائية كالمباني وغيرها، وذلك يزيد من نسبة قدرة الإشارة إلى الضوضاء بما يتناسب مع مربع عدد العناصر في السطح العاكس، وهذا بدوره يعطي تحسناً لوغاريتمياً في كل من كفاءة الطيف والطاقة ومدى التغطية وموثوقية النظام.

المراجع

[1] C. Pan et al., "Reconfigurable Intelligent Surfaces for 6G Systems: Principles, Applications, and Research Directions," in *IEEE Communications Magazine*, vol. 59, no. 6, pp. 14-20, June, 2021, doi: 10.1109/MCOM.001.2001076.

[2] Q. Wu, S. Zhang, B. Zheng, C. You and R. Zhang, "Intelligent Reflecting Surface-Aided Wireless Communications: A Tutorial," in *IEEE*