

مجلة جامعة البعث

سلسلة العلوم الهندسية الميكانيكية و
الكهربائية و المعلوماتية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 44 . العدد 18

1443 هـ - 2022 م

الأستاذ الدكتور عبد الباسط الخطيب
رئيس جامعة البعث
المدير المسؤول عن المجلة

أ. د. ناصر سعد الدين	رئيس هيئة التحرير
أ. د. هايل الطالب	رئيس التحرير

مديرة مكتب مجلة جامعة البعث
بشرى مصطفى

عضو هيئة التحرير	د. محمد هلال
عضو هيئة التحرير	د. فهد شريباتي
عضو هيئة التحرير	د. معن سلامة
عضو هيئة التحرير	د. جمال العلي
عضو هيئة التحرير	د. عباد كاسوحة
عضو هيئة التحرير	د. محمود عامر
عضو هيئة التحرير	د. أحمد الحسن
عضو هيئة التحرير	د. سونيا عطية
عضو هيئة التحرير	د. ريم ديب
عضو هيئة التحرير	د. حسن مشرقي
عضو هيئة التحرير	د. هيثم حسن
عضو هيئة التحرير	د. نزار عبشي

تهدف المجلة إلى نشر البحوث العلمية الأصيلة، ويمكن للراغبين في طلبها

الاتصال بالعنوان التالي:

رئيس تحرير مجلة جامعة البعث

سورية . حمص . جامعة البعث . الإدارة المركزية . ص . ب (77)

. هاتف / فاكس : 2138071 31 963 ++

. موقع الإنترنت : www.albaath-univ.edu.sy

. البريد الإلكتروني : [magazine@ albaath-univ.edu.sy](mailto:magazine@albaath-univ.edu.sy)

ISSN: 1022-467X

شروط النشر في مجلة جامعة البعث

الأوراق المطلوبة:

- 2 نسخة ورقية من البحث بدون اسم الباحث / الكلية / الجامعة) + CD / word من البحث منسق حسب شروط المجلة.
 - طابع بحث علمي + طابع نقابة معلمين.
 - إذا كان الباحث طالب دراسات عليا:
يجب إرفاق قرار تسجيل الدكتوراه / ماجستير + كتاب من الدكتور المشرف بموافقة على النشر في المجلة.
 - إذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية:
يجب إرفاق قرار المجلس المختص بإنجاز البحث أو قرار قسم بالموافقة على اعتماده حسب الحال.
 - إذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية من خارج جامعة البعث :
يجب إحضار كتاب من عمادة كليته تثبت أنه عضو بالهيئة التدريسية و على رأس عمله حتى تاريخه.
 - إذا كان الباحث عضواً في الهيئة الفنية :
يجب إرفاق كتاب يحدد فيه مكان و زمان إجراء البحث ، وما يثبت صفته وأنه على رأس عمله.
 - يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسبة لكليات (العلوم الطبية والهندسية والأساسية والتطبيقية):
عنوان البحث .. ملخص عربي و إنكليزي (كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).
- 1- مقدمة
 - 2- هدف البحث
 - 3- مواد وطرق البحث
 - 4- النتائج ومناقشتها .
 - 5- الاستنتاجات والتوصيات .
 - 6- المراجع.

- يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسبة لكليات (الآداب - الاقتصاد - التربية - الحقوق - السياحة - التربية الموسيقية وجميع العلوم الإنسانية):
- عنوان البحث .. ملخص عربي و إنكليزي (كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).
- 1. مقدمة.
- 2. مشكلة البحث وأهميته والجديد فيه.
- 3. أهداف البحث و أسئلته.
- 4. فرضيات البحث و حدوده.
- 5. مصطلحات البحث و تعريفاته الإجرائية.
- 6. الإطار النظري و الدراسات السابقة.
- 7. منهج البحث و إجراءاته.
- 8. عرض البحث و المناقشة والتحليل
- 9. نتائج البحث.
- 10. مقترحات البحث إن وجدت.
- 11. قائمة المصادر والمراجع.
- 7- يجب اعتماد الإعدادات الآتية أثناء طباعة البحث على الكمبيوتر:
 - أ- قياس الورق 25×17.5 B5.
 - ب- هوامش الصفحة: أعلى 2.54- أسفل 2.54 - يمين 2.5- يسار 2.5 سم
 - ت- رأس الصفحة 1.6 / تذييل الصفحة 1.8
 - ث- نوع الخط وقياسه: العنوان . Monotype Koufi قياس 20
- . كتابة النص Simplified Arabic قياس 13 عادي . العناوين الفرعية Simplified Arabic قياس 13 عريض.
- ج . يجب مراعاة أن يكون قياس الصور والجداول المدرجة في البحث لا يتعدى 12سم.
- 8- في حال عدم إجراء البحث وفقاً لما ورد أعلاه من إشارات فإن البحث سيهمل ولا يرد البحث إلى صاحبه.
- 9- تقديم أي بحث للنشر في المجلة يدل ضمناً على عدم نشره في أي مكان آخر، وفي حال قبول البحث للنشر في مجلة جامعة البعث يجب عدم نشره في أي مجلة أخرى.
- 10- الناشر غير مسؤول عن محتوى ما ينشر من مادة الموضوعات التي تنشر في المجلة

11- تكتب المراجع ضمن النص على الشكل التالي: [1] ثم رقم الصفحة ويفضل استخدام التهميش الإلكتروني المعمول به في نظام وورد WORD حيث يشير الرقم إلى رقم المرجع الوارد في قائمة المراجع.

تكتب جميع المراجع باللغة الانكليزية (الأحرف الرومانية) وفق التالي:
آ . إذا كان المرجع أجنبياً:

الكنية بالأحرف الكبيرة . الحرف الأول من الاسم تتبعه فاصلة . سنة النشر . وتتبعها معترضة (-) عنوان الكتاب ويوضع تحته خط وتتبعه نقطة . دار النشر وتتبعها فاصلة . الطبعة (ثانية . ثالثة) . بلد النشر وتتبعها فاصلة . عدد صفحات الكتاب وتتبعها نقطة .
وفيما يلي مثال على ذلك:

-MAVRODEANUS, R1986- Flame Spectroscopy. Willy, New York, 373p.

ب . إذا كان المرجع بحثاً منشوراً في مجلة باللغة الأجنبية:

. بعد الكنية والاسم وسنة النشر يضاف عنوان البحث وتتبعه فاصلة، اسم المجلد ويوضع تحته خط وتتبعه فاصلة . المجلد والعدد (كتابة مختزلة) وبعدها فاصلة . أرقام الصفحات الخاصة بالبحث ضمن المجلة.
مثال على ذلك:

BUSSE,E 1980 Organic Brain Diseases Clinical Psychiatry News ,
Vol. 4. 20 – 60

ج . إذا كان المرجع أو البحث منشوراً باللغة العربية فيجب تحويله إلى اللغة الإنكليزية و
التقيد

بالبنود (أ و ب) ويكتب في نهاية المراجع العربية: (المراجع In Arabic)

رسوم النشر في مجلة جامعة البعث

1. دفع رسم نشر (20000) ل.س عشرون ألف ليرة سورية عن كل بحث لكل باحث يريد نشره في مجلة جامعة البعث.
2. دفع رسم نشر (50000) ل.س خمسون ألف ليرة سورية عن كل بحث للباحثين من الجامعة الخاصة والافتراضية .
3. دفع رسم نشر (200) مئتا دولار أمريكي فقط للباحثين من خارج القطر العربي السوري .
4. دفع مبلغ (3000) ل.س ثلاثة آلاف ليرة سورية رسم موافقة على النشر من كافة الباحثين.

المحتوى

الصفحة	اسم الباحث	اسم البحث
28-11	م. عادل عبد الرحمن	دراسة رقمية لتحسين أداء المجمعات الشمسية المسطحة باستخدام الزعانف والحواجز واختبارها تجريبياً
54-29	م. عزيز جروج د. إبراهيم الشامي	تحسين أداء شبكات الشرائح ثلاثية الابعاد ذات عرض الحزمة العمودي المحدود باستخدام توجيه تكميلي
98-55	م. علي جحي د. شحادة الموسى د. مازن يوسف	دراسة وتحليل فعالية نظام الاتصال الضخم متعدد المداخل والمخارج الخالي من الخلايا (CF-MM)
130-99	م. عمار العساف	تحسين عملية اكتشاف هجمات رفض الخدمة البطيئة باستخدام المصفوفات الانتقائية

148-131	مسعود علي	تحديد موقع القنص بمستشعرات صوتية
---------	-----------	----------------------------------

دراسة رقمية لتحسين أداء المجمعات الشمسية المسطحة باستخدام الزعانف والحواجز واختبارها تجريبياً

الباحث: م. عادل يونس عبد الرحمن
كلية الهندسة التقنية - جامعة طرطوس

الملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تصميم مجمع شمسي مصنّع محلياً يعمل بالماء واختباره تجريبياً باستخدام أسلوب ديناميك الموائع الحسابي CFD بحيث يحقق توزيع مناسب لوسيط نقل الحرارة ضمن المجمع بما يؤدي إلى تسخين الماء في ظروف الجو الطبيعي وعند مستويات الإشعاع الشمسي في منطقة الساحل السوري. تم تقسيم المجال المدروس في الدراسة الرقمية إلى قسمين: المائع (الماء) والهيكل الصلب للمجمع (مادة الالمنيوم). بينت الدراسة الرقمية أن تصميم المجمع على شكل صندوق مسطح مزود بشفرات (زعانف وحواجز) مدمجة مع السطح الماص يساهم بشكل كبير في تعزيز انتقال الحرارة من السطح الماص إلى وسيط نقل الحرارة من خلال زيادة سطح التبادل الحراري واضطراب الجريان، حيث بلغ أفضل مردود % 59.6 للمجمعات المعززة بزعانف طولية وعرضية، في حين كان أقل مردود % 37.55 للتصاميم الأخرى. من جهة ثانية كان لزيادة معدل تدفق المائع أثراً كبيراً على انخفاض درجات الحرارة وتوزعها ضمن المجمع، حيث بلغت درجة حرارة خروج المائع حوالي 320K وذلك عند تدفق 700ml/min، في حين كانت حرارة خروج المائع حوالي 328K عند تدفق 300ml/min.

الكلمات المفتاحية: انتقال الحرارة، CFD، المجمعات الشمسية المسطحة، الزعانف.

Numerical study to improve performance of flat plate solar collectors by using fins and baffles and testing experimentally

ABSTRACT

this study aims by using computational fluid dynamic CFD technique to design water-hand-made solar collector and testing it in experimental way, where achieve appropriate distribution of heat transfer medium within the collector to perform water heating at solar radiation levels in the Syrian coast. In the numerical study, the studied domain was divided into two parts: the fluid (water) and the solid structure of the collector (aluminum). The numerical study showed that the design of the collector in the form of a flat box with blades (fins and baffles) integrated with the absorbing surface contributes significantly to enhancing the heat transfer from the absorbing surface to the heat transfer medium by increasing the heat exchange surface and turbulence of flow. where the higher efficiency for the collector with transverse and longitudinal fins reached 59.6%, while the efficiency was 37.55% for The other designs. on the other hand, the increase of flow rate of water has significant influence on the distribution and decrease of heat within the collector. where the heat of outlet water reached about 320K at 700ml/min of flow, while reached 328K at 300ml/min.

Keywords: heat transfer, CFD, flat plate solar collectors, fins.

مقدمة:

إن الفائدة الأعظم للطاقت المتجددة بشكل عام وللطاقة الشمسية بشكل خاص مقارنة بالطاقت الأخرى هي نظافة هذه الطاقة واستدامتها (Sustainability). يتم في الواقع، استهلاك نسبة عالية من الطاقة لتسخين المياه في المنازل وفي التطبيقات الصناعية والخدمية. يتم استخدام حوالي 18% من الطاقة المنزلية لتسخين المياه. لذلك، يمثل التحول إلى سخان المياه الشمسي (solar water heater (SWH)) حلاً عملياً لتقليل استهلاك الطاقة المخصصة لتسخين المياه [1].

توجد مجموعة متنوعة من التصاميم والأشكال لمجمعات تسخين المياه بالطاقة الشمسية. بشكل عام، يعتبر نظام سخان المياه الشمسي (SWH) أداة لاستثمار الطاقة الحرارية لأشعة الشمس.

أبرزت العديد من الأبحاث طرقاً مختلفة لتحسين معامل انتقال الحرارة والكفاءة الحرارية في مجمعات تسخين المياه بالطاقة الشمسية. تعمل عناصر مختلفة مثل الزعانف أو الحواجز على تحسين نقل الحرارة ولكن تؤدي هذه العناصر أيضاً إلى زيادة الاحتكاك ومقاومة تدفق السوائل المرتبط بانخفاض الضغط في المجمع. بمعنى آخر، ترتبط عناصر الزعانف والحواجز بتشكيل التدفق العكسي في المجمعات. [2,3].

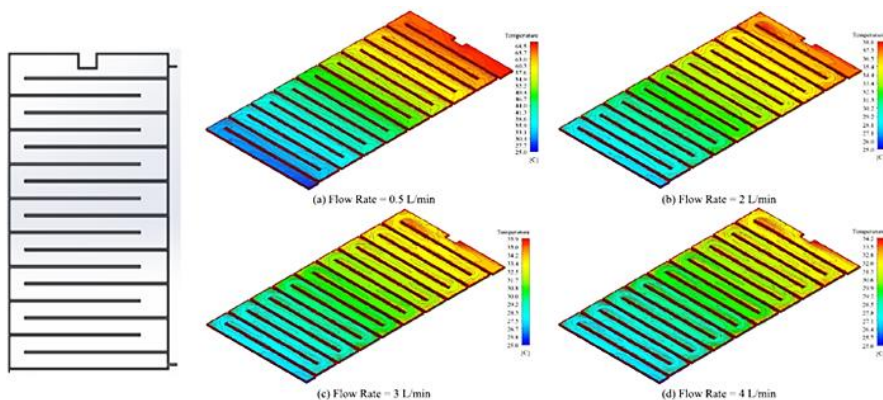
تم اختبار وتقييم أداء وتصميم أنظمة تسخين المياه بالطاقة الشمسية بعمق ومراجعتها من قبل العديد من الباحثين [4,5,6].

قام AFSHARI وآخرون [7] بتصميم ثلاثة مجمعات شمسية لتسخين الهواء لها نفس المساحة ولكن تختلف بتصميم الشفرات الداخلية (النوع الأول يحتوي حواجز عرضية متقبة بثقوب دائرية، النوع الثاني يحتوي حواجز عرضية متقبة بثقوب مستطيلة والنوع الثالث يحتوي على زعانف طولية) وتم تحليل أدائها الحراري رقمياً. أشارت نتائج المحاكاة إلى أن تعديل الزعانف في المجمع الشمسي كان له تأثير أفضل على تحسين درجة الحرارة على مخرج المجمع الشمسي. بالإضافة إلى ذلك، لا يوجد فرق كبير بين الحواجز المتقبة بثقوب دائرية أو مستطيلة.

Kim Yu-Jin وآخرون [8] قاموا بدراسة رقمية من خلال دراسة تأثير أطوال الحاجز وميلانه على درجة حرارة الهواء عند المخرج، ونقل الحرارة الكلي وهبوط الضغط داخل المجمع. وجدوا أن درجات حرارة المخرج وانتقال الحرارة يزدادان مع طول الحاجز، ويزداد انخفاض الضغط بسرعة مع طول الحاجز. يساعد ميلان الحاجز على خلط أفضل لتدفق التيار الرئيسي ويعزز معدل نقل الحرارة.

قام Tamneh وآخرون [9] بإجراء تحليل تجريبي لسخان المياه الشمسي باستخدام الحواجز مع الصفيحة الماصة المسطحة. اجريت التجارب بمعدلات تدفق مياه مختلفة داخل المجمع. أظهرت النتائج التجريبية أن درجة حرارة الماء تكون أعلى في حالة سخان الماء الشمسي مع حواجز (زعانف).

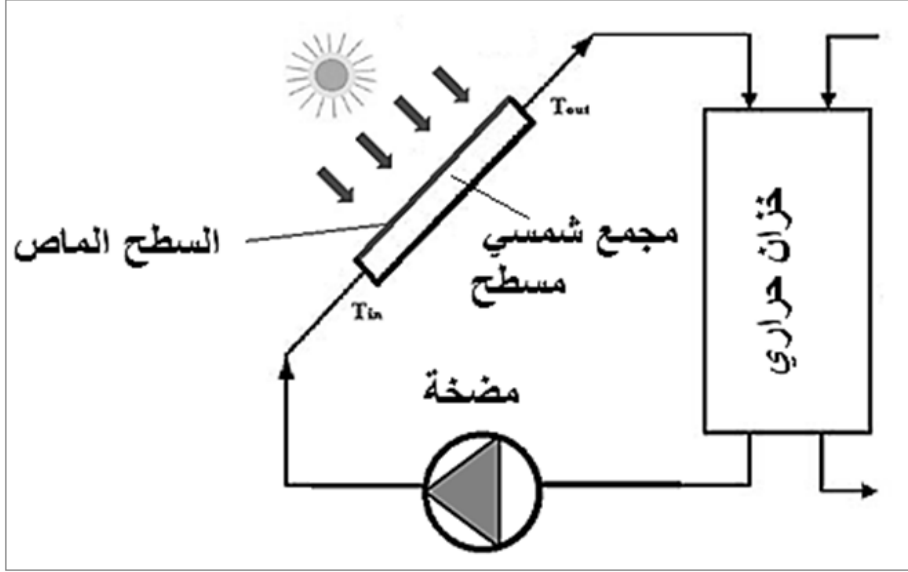
Gomaa وآخرون [10] قاموا باختبار مجمع شمسي على شكل صندوق مزود بزعانف عرضية على حد تعبيرهم (cross-fined channel box) ويستخدم الماء كوسيط عامل كما هو موضح في الشكل (1). تم تقييم أداء المجمع رقمياً وأظهرت النتائج تأثيراً كبيراً لمعدل تدفق المياه وشدة الإشعاع على أداء النظام. تمت المحاكات باستخدام نموذج ثلاثي الأبعاد باستخدام حزمة ANSYS.



الشكل (1) محاكاة رقمية لتدفق الماء في المجمع الشمسي الحراري المصمم على شكل صندوق مزود بزعانف عرضية [10]

يتم في هذه الدراسة اعتماد نظام نمذجي لمجمع تسخين المياه بالطاقة الشمسية المائل ذو سطح ماص مسطح. يتم إنشاء المجمع كصندوق من الألمنيوم مزود بحواجز داخلية

مدمجة ومخصص لتجميع الطاقة الشمسية الحرارية باستخدام الماء كمائع لنقل الحرارة. الشكل (2) يظهر الرسم التخطيطي لنظام تسخين المياه الشمسي النموذجي.



الشكل (1) نظام نمونجي لمجمع تسخين المياه بالطاقة الشمسية

$$\eta_{ther} = \frac{\dot{m}C(T_{out}-T_{in})}{GA} \quad \text{الكفاءة الحرارية للمجمع يتم تقديمها بالمعادلة التالية:}$$

حيث \dot{m} و C ، على التوالي، معدل تدفق الكتلة والسعة الحرارية النوعية للسائل ، A مساحة المجمع، T_{in} ، T_{out} درجات حرارة السائل عند المدخل والمخرج، G الإشعاع الشمسي الساقط بشكل طبيعي على السطح.

أهمية البحث وأهدافه:

إن استخدام أنظمة تسخين المياه بالطاقة الشمسية له أهمية بالغة في تغطية متطلبات الطاقة الحرارية وتخفيض استهلاك الكهرباء وخصوصاً في التطبيقات السكنية. كما أن إمكانية الاستفادة من المواد المتوفرة في السوق المحلية في تصنيع مجمعات تسخين المياه بالطاقة الشمسية تعمل بكفاءة حرارية مناسبة في ظروف مستويات الإشعاع الشمسي في منطقة الساحل السوري، يمثل أهمية اقتصادية.

يهدف البحث إلى تحسين أداء وكفاءة المجمعات الشمسية المسطحة الحرارية من خلال الخطوات التالية:

- دراسة رقمية لتحسين أداء المجمعات الشمسية المسطحة الحرارية من خلال محاكاة توزيع الحرارة وتدفق المائع في المجمع الصندوقي وتقييم دور الشفرات المدمجة في الحصول على شروط مثالية للجريان وانتقال الحرارة.
- مقارنة تأثير الشفرات (الزعانف والحواجز) على المردود الحراري للمجمع.
- اختبار تجريبي لتقييم أداء التصميم المقترح.

الطريقة والمواد المستخدمة في البحث:

المحاكاة الرقمية:

تم الاعتماد على التقنية الرقمية لديناميك الموائع الحسابي (CFD) في تصميم واختبار النموذج الذي يحاكي المجمع الحراري الشمسي. المحاكاة الرقمية في هذا البحث تعتبر أسلوب مهم جداً للتنبؤ بالسلوك الديناميكي والحراري لوسيط نقل الحرارة ضمن المجمع ودراسة شكل وتصميم وتوضع الشفرات داخل المبادل الحراري على عملية التدفق.

المعادلات الحاكمة للنموذج:

تعتمد المحاكاة الرقمية على حل المعادلات التالية:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u) = 0 \quad \text{معادلة الاستمرارية (تمثل الشروط الحدية):}$$

معادلة Navier Stokes (تمثل الحل):

$$\rho \frac{D\vec{V}}{Dt} = -\nabla p + \rho \vec{g} + \mu \nabla^2 \vec{V}$$

Total derivative

Pressure gradient

Body force term

Diffusion Term

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v_i)}{\partial x_i} = 0 \quad \text{مصونية الكتلة:}$$

$$\frac{\partial \rho v_i}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v_j v_i)}{\partial x_j} = \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} - \frac{\partial p}{\partial x_j} \quad \text{مصونية كمية الحركة:}$$

$$\frac{\partial(\rho E)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v_j E)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(K \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\tau_{ij} v_i) \quad \text{مصونية الطاقة:}$$

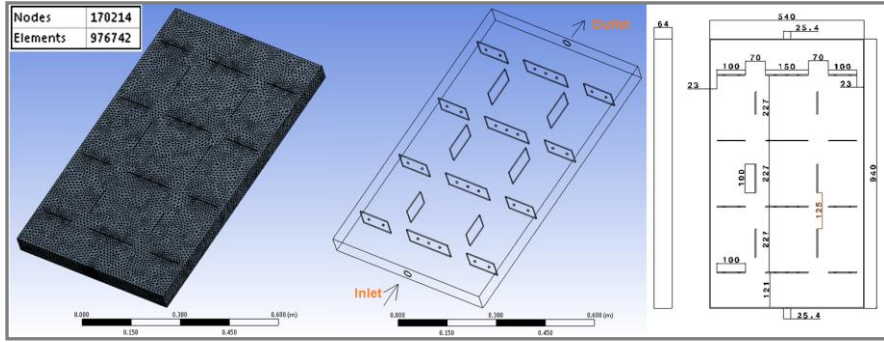
تعتبر الدراسة الرقمية والمحاكاة خطوة سابقة لدراسة تطبيقية تعتمد على تصميم المجمع الذي يحقق التدفق الأفضل والمتجانس. يمثل التصميم الذي يحتوي على الشفرات العرضية والطولية (الذي سوف نعتمده في الدراسة العملية) هو التصميم الأفضل لسهولة تصنيعه كما أنه يحقق توزيع متجانس للمائع ضمن المجمع.

أبعاد النموذج وعملية التشبيك (Mesh):

أولاً ننوه الى أن الشفرات التي تتوضع بشكل موازي للجريان يمكن أن نسميها بالزعانف، بينما الشفرات التي تتوضع بشكل متعامد مع الجريان نسميها بالحواجز. من ناحية أخرى، تصميم هذا المجمع يسمى بالمجمع الصندوقي المسطح وهو تصميم مشابه للمجمع الصندوقي المبين سابقاً بالشكل (1). المجمع الصندوقي المسطح يختلف من حيث التصميم عن المجمعات الشمسية المسطحة ذات الأنابيب. من الجدير بالذكر أنه تم اعتماد منهج الحسابات والمقارنة الرقمية الحاسوبية لتحسين تصميم المجمع الشمسي المسطح لأن اعتماد المنهج التجريبي يحتاج لتكلفة عالية ووقت طويل وجهد كبير.

أبعاد نموذج المجمع الحراري وطريقة توضع الشفرات (زعانف وحواجز) مبينة بالشكل (3). مساحة سطح المجمع $940 \times 450 \text{ mm}^2$ وارتفاعه 64 mm . سماكة جدران المجمع والشفرات 2 mm . تتوضع الشفرات بشكل طولي وعرضي بالنسبة للجريان وتحتوي الحواجز العرضية على ثقوب بقطر 7 mm . الغرض من الثقوب هو توفير جريان الماء من خلال الحواجز مما يساهم في زيادة انتقال الحرارة وتقليل مقاومة الجريان ضمن المجمع. تم استخدام الحزمة البرمجية Ansys 15 من أجل المحاكاة الرقمية للجريان وتوزيع درجات الحرارة، نسخة الإصدار المجاني. الحيز المدروس يتكون من قسمين هما: حيز المائع (الماء) وحيز الهيكل الصلب للمجمع (هيكل الألمنيوم).

لقد تم الحصول على المواد من السوق المحلية حيث بلغت الكلفة التقديرية لشراء المواد وتصنيع المجمع الشمسي حوالي 950000Sp، حيث كانت فترة الشراء في نهاية عام 2019، وهذه القيمة تعتبر مقبولة جداً بالمقارنة مع أسعار الأنظمة التجارية الموجودة في السوق.



الشكل (3) طريقة توضع الشفرات (زعانف وحواجز) داخل المجمع الحراري

تم اختيار الخواص الفيزيائية والحرارية للماء والألمنيوم من قاعدة بيانات الحزمة البرمجية Ansys 15، كما تمت عملية التشبيك على النموذج المصمم (تقسيم الحيز المدروس إلى عناصر منتهية) باستخدام عناصر Tetrahedron. وكان عدد العناصر الناتج 976742 وعدد العقد 170214.

المواد والتقنيات المستخدمة في الدراسة التجريبية:

تم إجراء مجموعة كبيرة من التجارب العملية لدراسة عملية التدفق في المجمع الحراري الشمسي وإجراء القياسات وملاحظة تأثير توضع الشفرات (زعانف وحواجز) وسرعة التدفق على الكفاءة الحرارية. حيث تم استخدام المواد التالية:

جهاز قياس شدة الاشعاع الشمسي Photo Radiometer- LI-19، الشكل (4).



الشكل (4) جهاز قياس شدة الاشعاع الشمسي

المواد العازلة المستخدمة في عزل أنابيب التوصيل وعزل المجمع الشمسي وهي عبارة عن ألواح من الفلين المضغوط وأنابيب الفلين. تستخدم في عزل الخطوط الباردة والساخنة ويمكن أن تستخدم لحرارة حتى 380K كما تستخدم في عزل الجدران الداخلية للمجمع الشمسي على شكل ألواح مسطحة تقص حسب الطلب. يضم الصندوق الخارجي المجمع الشمسي الحراري ومدخل الماء البارد ومخرج الماء الساخن مصنوع من التوتياء بسماكة 1.5mm، يتم استخدام الفلين الصناعي لعزل المجمع بشكل جيد من الداخل لمنع الضياعات الحرارية، الشكل (5).



الشكل (5) عزل المجمع باستخدام الفلين الصناعي

حساس قياس درجة حرارة الماء، حيث يركب الحساس الأول عند مدخل المجمع الشمسي (خط الماء البارد) والحساس الثاني عند مخرج المجمع الشمسي (خط الماء الساخن)

ومزود بمجس. ويمكن للحساس أن يقيس درجة حرارة الجو الخارجي والرطوبة، الشكل (6).



الشكل (6) حساس قياس درجة حرارة الماء

توضع الشفرات (زعانف وحواجز) داخل المجمع الحراري بهدف توزيع الماء بشكل متجانس لامتصاص أكبر كمية من الحرارة. كما يركب المجمع الحراري بعد التجميع ضمن الصندوق الخارجي المعزول، الشكل (7).



الشكل (7) توزع الشفرات (زعانف وحواجز) على السطح الداخلي للماص

تجميع النموذج التجريبي النهائي مبين بالشكل (8)، حيث تم طلاء السطح الماص للمجمع الشمسي باللون الأسود لزيادة فعالية امتصاص الحرارة. النموذج تم تركيبه على سطح أحد الأبنية (كلية العلوم) مدينة طرطوس، وكانت فترة التجارب خلال صيف 2021.



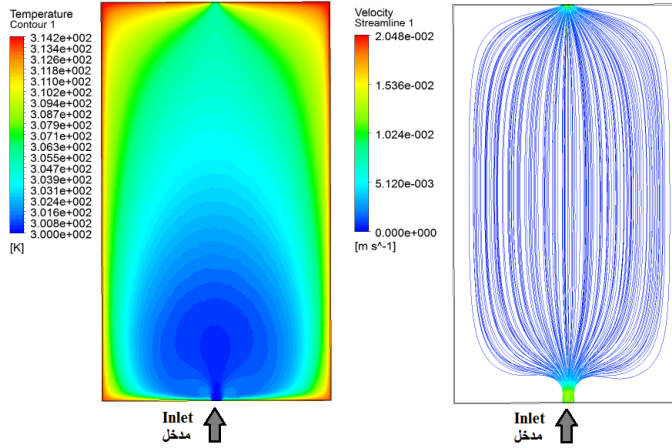
بالشكل (8) تجميع النموذج التجريبي

النتائج والمناقشة:

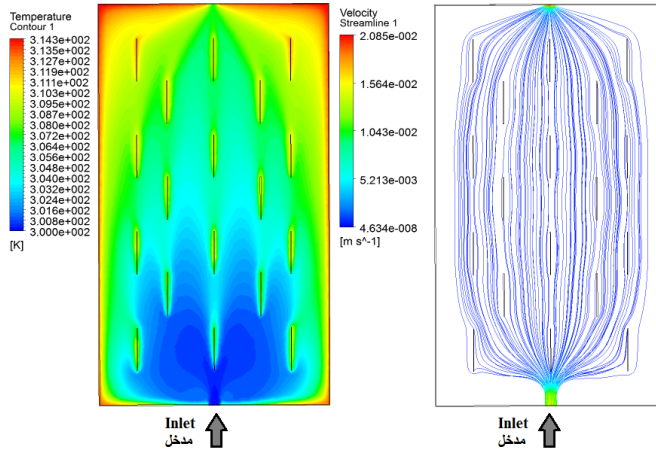
مقارنة تأثير الشفرات (الزعانف والحواجز) على التدفق وتغير درجة الحرارة في المجمع: تم دراسة أربع نماذج لتوضع الشفرات (زعانف وحواجز) في المجمع الصندوقي المسطح للمقارنة:

- 1- مجمع بدون شفرات (بدون زعانف وبدون حواجز).
 - 2- مجمع مع شفرات موازية للجريان (زعانف).
 - 3- مجمع مع شفرات متعامدة مع الجريان (حواجز).
 - 4- مجمع مع شفرات موازية للجريان (زعانف) وشفرات متعامدة مع الجريان (حواجز).
- في جميع الحالات عدد الشفرات متساوي (18 شفرة سواء كانت زعانف أو حواجز). الأشكال (9) و(10) و(11) و(12) توضح توزيع الجريان ودرجات الحرارة في المجمع

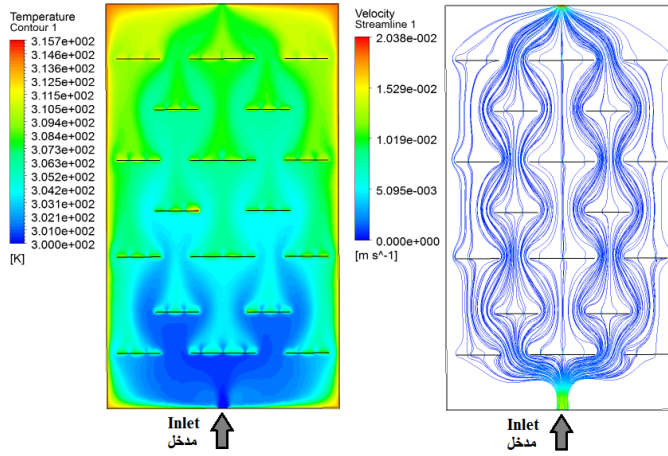
من أجل نفس الشروط الحدية (درجة حرارة دخول الماء 300K وشدة الاشعاع الشمسي 950w/m^2 وسرعة دخول الماء 15mm/s وأبعاد المجمع نفسها لجميع الحالات).



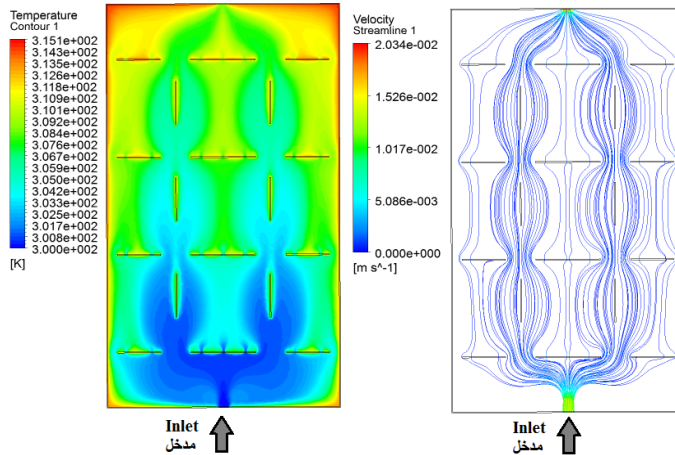
الشكل (9) توزيع الجريان ودرجة الحرارة في مجمع صندوقي مسطح بدون شفرات (بدون زعانف وبدون حواجز)



الشكل (10) توزيع الجريان ودرجة الحرارة في مجمع صندوقي مسطح مع شفرات موازية للجريان (زعانف)



الشكل (11) توزيع الجريان ودرجة الحرارة في مجمع صندوقي مسطح مع شفرات متعامدة مع الجريان (حواجز)

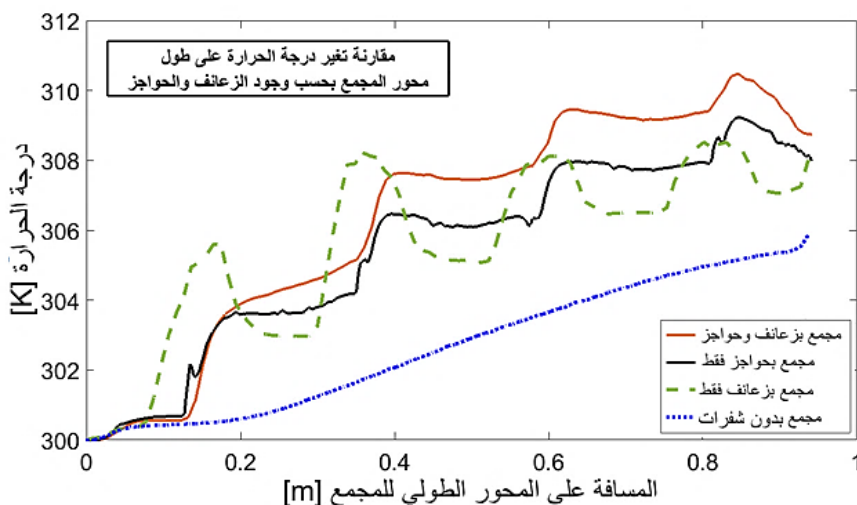


الشكل (12) توزيع الجريان ودرجة الحرارة في مجمع صندوقي مسطح مع شفرات موازية للجريان (زعانف)

وشفرات متعامدة مع الجريان (حواجز)

بالنسبة لجريان المائع، نلاحظ من الشكل (10) أن الشفرات الموازية للجريان (زعانف) لا تسبب اضطراب ملحوظ بخطوط الجريان الرئيسية في المجمع. بعبارة أخرى، توزيع الجريان للمجمع مع شفرات موازية للجريان يكاد يكون مطابق لتوزيع الجريان للمجمع بدون شفرات (بدون زعانف وبدون حواجز)، انظر الشكلين (9) و(10). عند وضع شفرات متعامدة مع الجريان (حواجز) في المجمع يحدث اضطراب ملحوظ بخطوط

الجريان كما هو مبين بالشكل (11). نلاحظ من الشكل (13) أن وجود الزعانف الطولية يوفر قفزة في درجة الحرارة في المجمع في المناطق القريبة من الزعنف مما يدل على فعالية الزعانف في نقل الحرارة للمائع، انظر للقمم بالخط باللون الأخضر المتقطع في الشكل (13). رغم ذلك، نلاحظ أن المجمع الذي يحتوي فقط على حواجز عرضية ترتفع فيه الحرارة بشكل نسبي أفضل من المجمع المزود بزعانف طولية فقط ويعود ذلك الى دور الحواجز في فرض اضطراب بالجريان وبالتالي زيادة فعالية التبادل الحراري. من الجدير بالذكر أن الحواجز تسبب أيضاً هبوط أكبر بالضغط بالمقارنة مع الزعانف وبالتالي زيادة الاستهلاك اللازم لتدوير المضخة. للاستفادة من فعالية الزعانف في التبادل الحراري ومن فعالية الحواجز في فرض اضطراب بالجريان دون المبالغة في زيادة هبوط الضغط بالمجمع تم اعتماد نموذج يحتوي على كلا النوعين من الشفرات (زعانف وحواجز). يوضح المخطط شكل (13) أن النموذج الذي يحتوي على شفرات موازية للجريان (زعانف) وشفرات متعامدة مع الجريان (حواجز)، كما في الشكل (12) ترتفع فيه درجة الحرارة بمعدل أعلى بالمقارنة مع بقية النماذج كذلك درجة حرارة الخروج في هذا النموذج أعلى بالمقارنة مع بقية النماذج.



الشكل (13) مقارنة درجة الحرارة على طول محور المجمع بحسب توضع الشفرات (زعانف وحواجز)

مقارنة المردود الحراري:

يتم حساب المردود الحراري لكل نموذج وفق مجموعة المعادلات التالية:

$$\eta = Q_u / A \times G = \dot{m} \times C_p \times (T_{out} - T_{in}) / A \times G$$

$$\dot{m} = \rho \times V \times A_{inlet} = 0.0076 \text{ kg / s}$$

$$C_p = 4184 \text{ J/kgK}$$

$$A \times G = 0.94 \times 0.55 \times 950 = 491.15 \text{ W}$$

يتم اعتبار قيم التدفق والسعة الحرارية للماء وشدة الاشعاع الشمسي ثابتة بالنسبة لجميع النماذج السابقة. المردود الحراري يتم حسابه بدون أخذ الضياعات الحرارية بعين الاعتبار لذلك قيمه مرتفعة نسبياً كما هو موضح بالجدول التالي:

الجدول (1) المردود الحراري للنماذج المدروسة

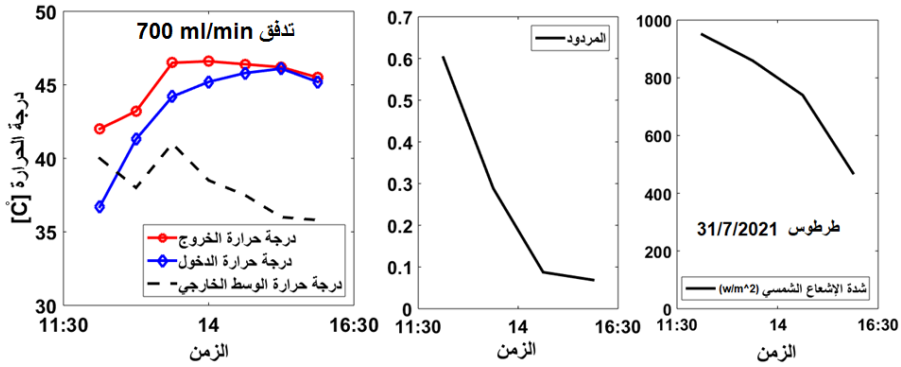
المردود η [%]	T_{out} [K]	T_{in} [K]	النموذج التصميمي
37.55%	305.8	300	مجمع بدون شفرات (بدون زعانف وبدون حواجز)
51.79%	308	300	مجمع مع شفرات موازية للجريان (زعانف)
53.74%	308.3	300	مجمع مع شفرات متعامدة مع الجريان (حواجز)
59.6%	309.2	300	مجمع مع شفرات موازية للجريان (زعانف) وشفرات متعامدة مع الجريان (حواجز)

نلاحظ أن المجمع مع شفرات موازية للجريان (زعانف) وشفرات متعامدة مع الجريان (حواجز) يحقق أعلى مردود حراري بفضل الاستفادة من فعالية الزعانف في التبادل الحراري ومن فعالية الحواجز في فرض اضطراب بالجريان لذلك سيتم اعتماد هذا النموذج للتصنيع والاختبار التجريبي.

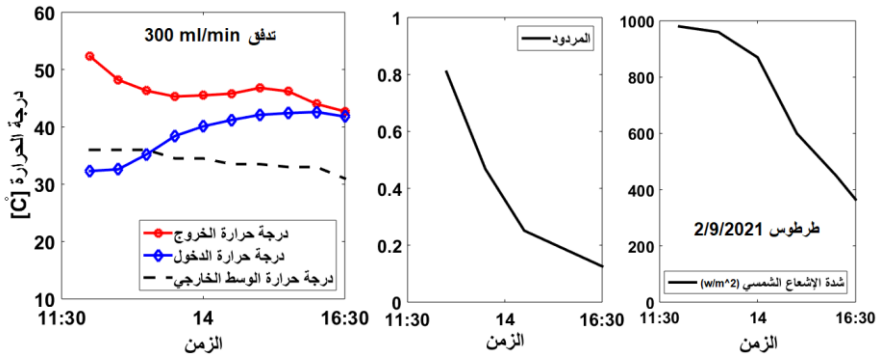
النتائج التجريبية

اختبار أداء المجمع عند تدفقات مختلفة:

تم اختيار تجربتين من ضمن مجموعة واسعة من التجارب بتاريخ 31/7/2021 وتاريخ 2/9/2021 على سطح كلية العلوم في مدينة طرطوس، وتم تسجيل درجة حرارة الوسط الخارجي T_{amp} . تبين التجارب أن التصميم المقترح للمجمع المزود بشفرات عرضية وطوليه مدمجة مع السطح الماص يحقق أداء مناسب في رفع درجة حرارة الماء عند تدفقات مختلفة بالمقارنة مع درجة حرارة الوسط الخارجي. نلاحظ من خلال التجارب العملية أن درجة حرارة الدخول T_{in} والخروج T_{out} تزداد مع مرور الوقت خلال النهار من أجل تدفق 700ml/min وتدفق 300ml/min (تم اعتماد قيمتين مختلفتين لملاحظة تأثير التدفقات المنخفضة والتدفقات المرتفعة على درجة الحرارة)، كما في الشكلين (14) و (15). يحصل هبوط واضح بالمرود مع انخفاض شدة الإشعاع الشمسي وتصبح درجة حرارة ماء الدخول للمجمع مساوية تقريباً لدرجة حرارة الخروج.



الشكل (14) أداء المجمع عند تدفق 700 ml/min



الشكل (15) أداء المجمع عند تدفق 300 ml/min

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

هذا البحث يسلط الضوء على العديد من النقاط، يمكن تلخيص أهمها بما يلي:

- ✓ تصميم المجمع الشمسي الذي يستخدم الماء كوسيط لنقل الحرارة على شكل صندوق مسطح مزود بشفرات (زعانف وحواجز) عرضية وطولية يساهم بشكل كبير في انتقال الحرارة من السطح الماص الى السائل من خلال زيادة سطح التبادل الحراري.
- ✓ استخدام صفائح الألمنيوم في تصنيع المجمع الشمسي كان له دوراً كبيراً في عملية انتقال الحرارة، وقد يكون استخدام صفائح النحاس أفضل ولكن قد تكون التكاليف أكبر.
- ✓ الحواجز العرضية تساهم بزيادة الاضطراب في الجريان وزيادة زمن بقاء الماء ضمن المجمع وبالتالي زيادة درجة حرارته.
- ✓ يمكن تحسين المردود الحراري للمجمعات الشمسية المسطحة عند استخدام الزعانف الطولية لزيادة سطح التبادل الحراري والحواجز العرضية لزيادة اضطراب الجريان.
- ✓ القياس التجريبي يبين أن التصميم المقترح له أداء حراري جيد ويؤدي لرفع درجة حرارة الماء بشكل ملحوظ بالمقارنة مع درجة حرارة الوسط الخارجي.

التوصيات:

- ✓ يوصى باستخدام المجمعات الشمسية المسطحة ذات الشفرات (زعانف وحواجز) من صفائح الألمنيوم والتي يمكن تصنيعها محلياً ومن المواد المتوفرة في السوق المحلية بسبب فعاليتها الجيدة كما أن كلفة التصنيع مقبولة.
- ✓ يوصى باستخدام هذا النوع من الأنظمة في المنازل السكنية بسبب كلفته البسيطة والمردود الجيد حيث يؤمن متطلبات الماء الساخن بشكلٍ كافٍ.
- ✓ يوصى بالتحكم بسرعة المضخة للحصول على سرعة التدفق المناسبة والتي تؤمن درجة حرارة الماء الساخن بما يلبي الحاجة المطلوبة.
- ✓ نوصي بإجراء المزيد من التجارب لتطوير هذا النوع من الأنظمة حيث من الممكن أن يكون نظاماً تجارياً ويلبي متطلبات الماء الساخن.

References:

- [1] AGUILAR, C. D, DAVID, L. R 2005- Domestic water heating and water heater energy consumption in Canada, Canadian Building Energy End-Use Data and Analysis Centre, 805-813.
- [2] BOJIC, M. S, KALOGIROU, K 2002- Simulation of a solar domestic water heating system using a time marching model, Renewable energy, 441-452.
- [3] MICHAELIDES, I.M 2011- An experimental investigation of the performance boundaries of a solar water heating system, Experimental Thermal and Fluid Science, 1002-1009.
- [4] KISHOR, N. et al. 2010- Fuzzy model representation of thermo-siphon solar water heating system, Solar Energy, 948-955.
- [5] JAISANKAR, S. et al. 2011- A comprehensive review on solar water heaters, Renewable and sustainable energy reviews, 3045-3050.
- [6] GUNASEKARAN, N. et al. 2021- Investigation on ETC solar water heater using twisted tape inserts, Materials Today Proceedings, 845-875.
- [7] AFSHARI, F. et al. 2019- CFD analysis on fin and baffle configurations in solar Air collector, Energy and Environmental Studies for the Near Future, 79-87.
- [8] KIM, R. Yu-Jin, et al. 2020- Validation and Numerical Sensitivity Study of Air Baffle Photovoltaic-Thermal Module, Energies, 190-197.
- [9] TAAMNEH, N. YAZAN, G. et al. 2018- Experimental analysis of inclined solar water heater with baffles, Chemical Engineering Transactions, 1339-1344.
- [10] GOMMA MR, AHMED M, Rezk H. 2022 - Temperature distribution modeling of PV and cooling water PV/T collectors through thin and thick cooling cross-fined channel box. Energy Reports. Apr 1;8:1144-53.

تحسين أداء شبكات الشرائح ثلاثية الأبعاد ذات

عرض الحزمة العمودي المحدود باستخدام

توجيه تكيفي

م. عزيز جروج أ.د. إبراهيم الشامي

قسم هندسة التحكم الآلي والحواسيب

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة البعث

ملخص البحث

تعمل تقنية تكديس القوالب على توسيع التنوع المكاني للاتصالات على الرقاقة من خلال الاستفادة من التكامل (TSV) لربط الطبقات. تعاني الشبكة ثلاثية الأبعاد على الرقاقة (3D-NoC)، وهي مزيج من تقنية تكديس القوالب والبنية التحتية للاتصالات المنتظمة على الرقاقة، من زيادة الكثافة الحرارية وتبديد الحرارة غير المتوازن عبر طبقات متعددة، مما يؤثر بشكل كبير على أداء وموثوقية الرقاقة. يعد TSV الطريقة الأكثر شيوعاً لتنفيذ الروابط الرأسية. ومع ذلك، توجد صعوبات على المستوى التكنولوجي لضمان إنتاج عدد مقبول من الروابط الرأسية. لذلك، غالباً ما يكون عرض النطاق الترددي للوصلات الرأسية أصغر من الروابط الأفقية، مما يشكل عنق الزجاجة للنظام بأكمله. يقدم هذا البحث خوارزمية التوجيه التكيفي التي توزع حركة المرور للأنظمة ثلاثية الأبعاد ذات النطاق الترددي المحدود في الروابط الرأسية. تبين محاكاتها أنه في بنية شبكة $4 \times 4 \times 4$ ثلاثية الأبعاد، يمكن أن تحقق الخوارزمية المقترحة لدينا تحسناً ملحوظاً في الأداء من حيث زمن التأخير والإنتاجية مقارنة بخوارزميات التوجيه الحالية وهي قوية من حيث أن الأداء مستقر في ظل حركة مرور مختلفة الأنماط.

كلمات مفتاحية:

شبكات الربط على الشريحة، خوارزمية توجيه تكيفية، تكديس القوالب.

Performance Enhancing of 3D-NOCs with Limited Vertical Bandwidth Using Adaptive Routing

Eng.Aziz Jarrouj

Prof. Ibrahim El-Shami

Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Albaath University

Department of Auto control and Computers

Abstract

Die-stacking technology is expanding the space diversity of on-chip communications by leveraging through-silicon-via (TSV) integration and wafer bonding. The 3D network-on-chip (NoC), a combination of die-stacking technology and systematic on-chip communication infrastructure, suffers from increased thermal density and unbalanced heat dissipation across multistacked layers, significantly affecting chip performance and reliability. Currently, TSV is the most popular and practical way to implement vertical links. Yet, there exist difficulties at the technological level ensuring an acceptable yield number of vertical links. Therefore, the bandwidth of vertical links is often made smaller than horizontal links, which becomes a bottleneck of the whole system. This paper presents a traffic distributing adaptive routing algorithm for 3D systems with limited bandwidth in vertical links. Our simulation with synthetic traffic pattern reveals that in a $4 \times 4 \times 4$ 3D mesh network architecture, our proposed algorithm can achieve significant performance improvement in network latency and throughput compared to existing routing algorithms and is robust since the performance is stable under different traffic patterns.

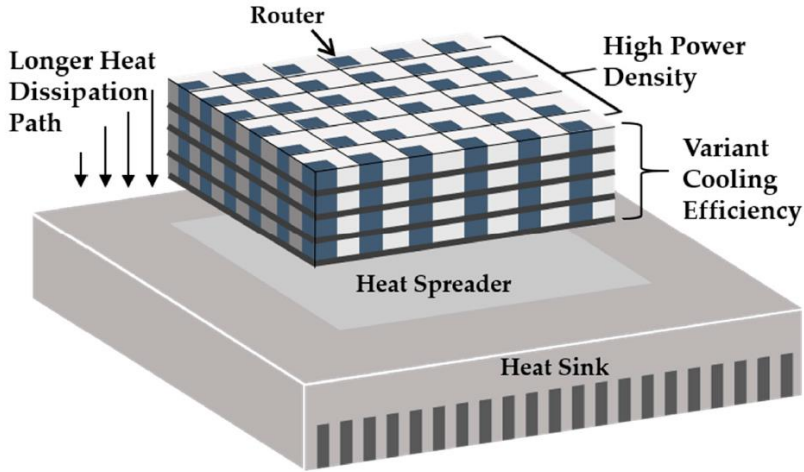
Keywords:

Networks on the chip, adaptive routing algorithm, TSV.

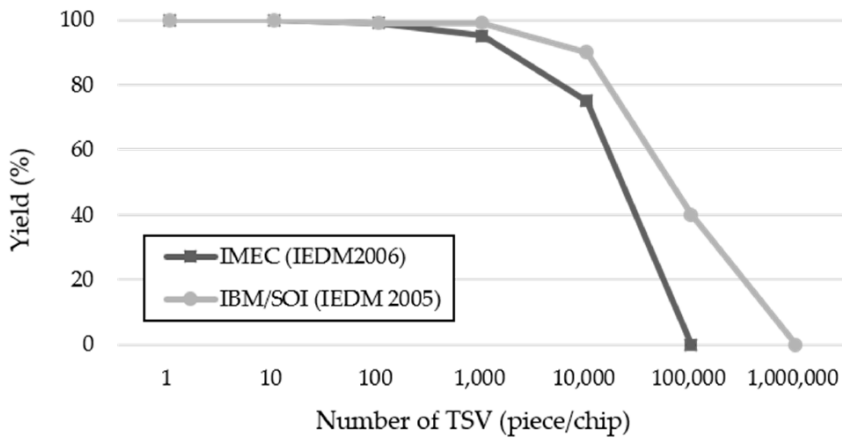
1. مقدمة

منذ منتصف العقد الأول من القرن الحادي والعشرين، تم استخدام رقاقة المعالجات المتعددة Chip Multi-Processor (CMP) على نطاق واسع للتغلب على القيود المتعلقة بالتوازي على مستوى التعليمات وجدران الطاقة في معالج أحادي الخيط / النواة [1]. ومع ذلك، فإن حركة المرور المتزايدة باستمرار بين عناصر المعالجة أدت إلى اختناقات في CMPs التقليدية القائمة على الناقل [2]. في البداية، تم اقتراح شبكة ثنائية الأبعاد على الرقاقة (NoC) Network-on-Chip للتخفيف من التعقيدات في شبكة التوصيل البيني على الرقاقة [3]. على الرغم من أن 2D-NoC له مزايا قابلية التوسع العالية وبنية التصنيع البسيطة، إلا أن الأداء العالي غير مضمون، بسبب التدهور السريع في زمن انتقال الحزم المرتبط بزيادة المسافات المادية مع زيادة عدد نوى المعالجة [4]. مع ظهور الدوائر المتكاملة ثلاثية الأبعاد القائمة على Through-Silicon-Via (TSV)، دخلت التغييرات الهيكلية مرحلة جديدة تتجاوز 2D-NOCs [5]. توفر بنية CMP ثلاثية الأبعاد المستندة إلى NoC والتي تستغل تكديس القوالب باستخدام تقنية TSV نطاقاً ترددياً أوسع وتأخيراً أقل في نقل الحزم ومسافات تخطيط أصغر بمتوسط مسافات أقصر من نظام NoC التقليدي ثنائي الأبعاد [6]. ومع ذلك، تؤدي الكثافة الحرارية المتزايدة في NoC ثلاثي الأبعاد في النهاية إلى التشبع في الأداء والموثوقية، مما يتطلب دوائر تبريد إضافية، مثل المشتت الحراري [7]. ينتج عن الهيكل المكسب لـ NoC ثلاثي الأبعاد مسار أطول لتبديد الحرارة وكفاءة تبريد مختلفة بين الطبقات [8]، كما هو موضح في الشكل (1). تواجه عُقد المعالج في الطبقة العليا الأبعد عن المشتت الحراري مشاكل حرارية شديدة، ويتفاقم عدم التوازن الحراري عبر الطبقات المعمارية ثلاثية الأبعاد [9]. إن TSVs المستخدمة في الهياكل المكسبة مقيدة بمناطق الترابط الأكبر، وعمليات القياس المعقدة ذات ميزات صغيرة وهناك انخفاضات حادة في العائد مع زيادة عدد TSVs [10، 11]، كما هو موضح في الشكل (2). يؤدي الانخفاض الحاد في العائد إلى الانتقال لشبكة غير منتظمة غير ثابتة Non-Stationary

والتالي تقليل مرونة توجيه الحزمة [12]. يؤدي هذا إلى انخفاض كفاءة استخدام جهاز التوجيه، والذي بدوره يزيد من مخاطر انحراف توزيع حمل المرور، مما يؤدي إلى تفاقم المشكلات الحرارية [13].



الشكل (1) الإعتبارات الحرارية في شريحة ثلاثية الأبعاد تعتمد تكديس الطبقات [8].



الشكل (2) اعتماد العائد على عدد تكاملات (TSV) لأجل عدة عمليات تصنيع [11].

في تقنية التكامل ثلاثي الأبعاد، يتم تكديس طبقات متعددة معاً باستخدام روابط عمودية. واحدة من أكثر التقنيات شيوعاً المستخدمة في الاتصال الرأسي هي TSV

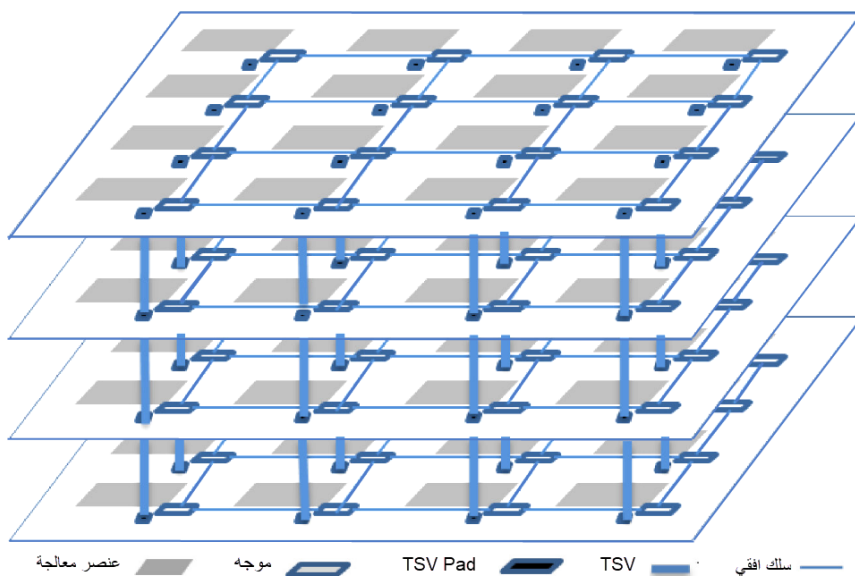
[14,15]، والتي تقوم بإنشاء اتصال بين القوالب عبر طبقات السيليكون الرقيقة. سبب شعبية TSV هو أنه يسمح بكثافة عالية، وتوافق عالي مع عملية CMOS القياسية. لسوء الحظ، تجلب TSVs أيضاً مشاكلها الخاصة التي يمكن أن تكون صعبة.

- أولاً، كما هو موضح في الشكل (3)، هناك حاجة إلى منصات هبوط TSV (TSV Pads) في كل طبقة من أجل الترابط. مع زيادة عدد عقد الشبكة في كل طبقة، يزداد أيضاً عدد TSVs، مما يؤدي إلى ارتفاع استهلاك المنطقة. على سبيل المثال، 8×8 عقدة في كل طبقة مع 64 بت TSV عمودية لتربط العقد في الطبقات المجاورة وأبعاد محطة TSV تبلغ 10 ميكرومتر \times 10 ميكرومتر. بالنسبة إلى TSV منخفضة الكثافة البالغة 50 ميكرومتر [16,17]، فإن المساحة الإجمالية لـ TSVs ستكون أكثر من 10 مم². حتى بالنسبة إلى TSV عالية الكثافة التي تبلغ 16 ميكرومتر [16,17]، ستستهلك TSVs ما يقرب من 2.1 مم² من المساحة، والتي لا يمكن تجاهلها وتصبح مشكلة صعبة للغاية عندما يزداد حجم الشبكة.

- ثانياً، تؤدي كمية كبيرة من منصات TSV الموزعة عبر الشبكة بأكملها إلى تفاقم ازدحام التوجيه [18]، وهي مشكلة صعبة لتصميم الدوائر المتكاملة عالية السرعة.
- أخيراً، نظراً لبعض الصعوبات على المستوى التكنولوجي، فإن عمليات تصنيع TSV المتاحة حالياً لها عائد منخفض نسبياً [19] (مقارنةً بالتوصيل البيني القياسي ثنائي الأبعاد). لذلك، مع كل هذه العيوب، تميل الروابط الرأسية إلى أن يكون لها خصائص مختلفة بما في ذلك النطاق الترددي المحدود (ويرجع ذلك أساساً إلى انخفاض عدد TSVs) عند مقارنتها بالوصلات الأفقية.

لمعالجة مشكلة النطاق الترددي المحدود للوصلة الرأسية في شبكة ثلاثية الأبعاد، كانت هناك أبحاث سابقة مثل مخطط التسلسل باستخدام نطاق ساعة أعلى للإرسال العمودي [20] وهيكل ناقل هجين [21]. ومع ذلك، فهي تتطلب تصميمًا غير متزامن أو درجة عالية من التعقيد في التصميم، ما يجعل من الصعب اعتمادها. في هذا البحث، نقتراح خوارزمية التوجيه التكيفي لتوزيع حركة المرور لتحسين أداء وإنتاجية الشبكة ثلاثية

الأبعاد حيث يكون عرض النطاق العمودي محدودًا. من خلال النظر في معلومات الازدحام الخاصة بالعقد المجاورة، وإعطاء أوزان مختلفة للاتجاه الرأسي والاتجاه الأفقي لحساب حركة المرور، بالإضافة إلى أخذ المسافة من العقدة الحالية إلى وجهة الحزم في الاعتبار، فإننا نعمل على تحسين زمن الانتقال والإنتاجية في الشبكة ثلاثية الأبعاد.



الشكل (3) شبكة ثلاثية الابعاد 4x4x4 متجانسة

يعرض القسم الثاني الأعمال ذات الصلة، ويشرح القسم الثالث تفاصيل الخوارزمية المقترحة، ويوضح القسم الرابع النتائج التجريبية والتحليل. الاستنتاج معطى في القسم الخامس.

2. الأعمال ذات الصلة

أ. الربط العمودي

كما ذكر أعلاه، يمثل استهلاك المنطقة والإنتاجية المنخفضة نسبيًا لـ TSVs مشكلة صعبة بالنسبة للروابط الرأسية القائمة على TSV. تم تقديم بعض الأعمال في [20]، حيث تم اقتراح مخطط تسلسلي للتوصيل البيئي الرأسي لمعالجة مثل هذه المشكلة. على سبيل المثال، يمكن أن يوفر التسلسل 4 إلى 1 لوصلات TSV أكثر من 70٪ من

مساحة منطقة TSV. ومع ذلك، سيؤدي هذا المخطط إلى انخفاض الإنتاجية خاصة عندما تكون حركة المرور غير منتظمة. علاوة على ذلك، في عملهم، يتم تطبيق مجالات ساعة مختلفة على الإرسال الأفقي والرأسي، والذي بالكاد يمكن اعتماده من قبل معظم التصميمات المتزامنة. في [17]، تم اقتراح مخطط ضغط، حيث تشترك أربع عقد شبكية في حزمة TSV واحدة. إنهم يحلون مشكلة التصميم غير المتزامن، لكن العمل يعتمد على افتراض أن أجهزة التوجيه المجاورة نادراً ما تنقل البيانات عبر قنواتها الرأسية في نفس الوقت، وهو ما قد لا يكون مقبولاً للتطبيق العملي. علاوة على ذلك، يخلق الهيكل تعقيداً إضافياً في التخطيط، مما يقلل من جدواه.

ب. خوارزمية التوجيه ثلاثية الأبعاد

تمت دراسة خوارزمية التوجيه ثنائية الأبعاد على نطاق واسع. تؤدي خوارزميات توجيه الازدحام - الحي Congestion-oblivious مثل XY [22] و West-First [23] والعشوائية [23] إلى التوجيه دون مراعاة حالة حركة المرور للشبكة. هناك أيضاً الكثير من الخوارزميات المدركة للازدحام مثل DyXY [24] و NOP [25] و DBAR [26] و CATRA [27]، حيث يتم اختيار المسار باستخدام حالة الازدحام للشبكة. ومع ذلك، لم يتم إجراء العديد من الدراسات حول توجيه 3D NoC مقارنةً بتوجيه 2D NoC. وهناك دراسات قليلة تتناول قضية النطاق الترددي العمودي المحدود لبنية الشبكة المكسدة ثلاثية الأبعاد (3D stacked mesh).

اقترح تشاو وآخرون [28] توجيهًا تكيفيًا مدرّكًا للحرارة باستخدام توجيه تنازلي استباقي لضمان السلامة الحرارية لـ 3D NoC التي قد تعاني من الاختناق. لكن العمل يقتصر على 3D NoC المتجانسة. قامت مجموعة أخرى بحل المشكلة باستخدام هيكل هجين. اقترح رحمان وآخرون [29] استخدام ناقل وتشكيل مخطط هجين للتخفيف من الاختناق الرأسي. لقد أدخلوا أيضاً خوارزمية توجيه بين الطبقات تسمى AdaptiveZ لبنى شبكة NoC المكسدة ثلاثية الأبعاد، والتي تختار قناة عمودية وفقاً لحالة حركة المرور وتقوم بتوجيهه XY في الطبقة المستهدفة. كامتداد لهذا العمل، في [21]، اقترح رحمان

وآخرون منصة مراقبة تكيفية لبنى شبكة 3D NoC المكذبة، تسمى ARBNET لإجراء مراقبة حركة المرور، والإدارة الحرارية، والتسامح مع الأخطاء. لقد أدخلوا أيضاً خوارزمية AdaptiveXYZ، وهي نسخة معدلة من خوارزمية AdaptiveZ. بدلاً من تنفيذ توجيه XY في الطبقة المستهدفة، فإنه يؤدي إلى توجيه تكيفي أصغري وفقاً لحجم قائمة الانتظار لكل اتجاه.

تعالج جميع الأساليب السابقة المذكورة أعلاه قضايا محددة مثل التسامح مع الخطأ والإدارة الحرارية. ومع ذلك، فيما يتعلق بالترابط الرأسي المحدود، فإنهم يعتمدون على تعديل الهيكل مثل التسلسل serialization، أو تجميع TSV، أو هيكل الناقل الهجين. من أجل حل هذه المشكلة على بنية عامة وبطريقة أكثر فاعلية، نبدأ من وجهة نظر سياسة التوجيه ونقترح خوارزمية توجيه جديدة لتوزيع حركة المرور.

3. الخوارزمية المقترحة (خوارزمية التوجيه التكيفي الموزونة لتوزيع حركة المرور)

أ. مخطط توزيع حركة المرور

من أجل توزيع حمل حركة المرور بشكل أكثر فاعلية على الروابط الرأسية المحدودة، نحتاج إلى الاستفادة من معلومات حالة حركة المرور. يمكننا استخدام مقاييس مختلفة كمقياس لحالة حركة المرور للشبكة. ومن الأمثلة على ذلك مساحة المخزن المؤقت buffer المتبقية، أو القنوات الافتراضية المتاحة، أو الطلب على شبكة التصالب crossbar، أو مجموعة من هذه العوامل. تتمثل إحدى الطرق الأكثر مباشرة في استخدام مساحة المخزن المؤقت المتبقية المتوفرة في منفذ الإدخال المقابل للقفزة التالية.

كما تمت مناقشته أعلاه، فإن عرض النطاق الترددي للروابط الرأسية في الشبكة ثلاثية الأبعاد منخفض نسبياً مقارنةً بالروابط الأفقية، ولكن لا تأخذ خوارزميات توجيه الأبعاد التقليدية، مثل XYZ، ولا الخوارزميات الأخرى الحالية التي تستهدف توجيه 3D NoC الازدحام المحتمل في الروابط الرأسية بعين الاعتبار. بناءً على هذه الملاحظة، قررنا استخدام مخطط توجيه تكيفي غير اصغري المسار لتوزيع حمل حركة المرور عبر الشبكة خاصة في الاتجاه الرأسي. ومع ذلك، نظرًا لأن التوجيه غير ذي المسار الأدنى

يسمح بالتوجيه الخاطئ (توجيه الحزمة في اتجاه ليس على الحد الأدنى من المسار إلى وجهتها)، فقد يؤدي ذلك إلى مسارات توجيه طويلة غير ضرورية، وبالتالي زيادة زمن الانتقال وكذلك تقليل الإنتاجية. وبالتالي، تصيح المشكلة التي يتعين حلها تقليل زمن الوصول وتعظيم الإنتاجية مع الاعتراف بسوء التوجيه.

نظرًا لأننا لا نعلم حمل حركة مرور الشبكة العام والتأثير الدقيق لتوزيع حمل حركة المرور على زمن انتقال الشبكة والإنتاجية، فإننا نحاول ببساطة توزيع حمل حركة المرور محليًا مع مراعاة الاتجاه نحو الوجهة. هذا لتقليل الازدحام خاصة في الاتجاه الرأسي وفي نفس الوقت لتجنب مسارات التوجيه الطويلة غير الضرورية بسبب سوء التوجيه. لتنفيذ ذلك، في كل جهاز توجيه، نقوم بتعيين وزن مختلف لكل اتجاه لحساب الأولوية بناءً على حركة المرور. ثم يتم اتخاذ قرار التوجيه وفقًا للأولوية. بالنسبة لتخصيص الوزن في الخوارزمية الخاصة بنا، هناك ثلاث حالات يجب مراعاتها: (1) الاتجاه الرأسي (لا نسمح بالتوجيه الخاطئ في الاتجاه الرأسي)، (2) الاتجاه الأفقي الذي يكون على مسار أدنى (3) الاتجاه الأفقي الذي لا يقع على مسار الحد الأدنى (أي التضييل).

الخوارزمية 1: تحديد الأوزان

المدخلات: X_{di} , Y_{di} , Z_{di}

المخرجات: الوزن لكل اتجاه

1: $X_{di} = X_c - X_{des}$; // حساب البعد للوصول للهدف من العقدة الحالية في الاتجاه الأفقي

2: $Y_{di} = Y_c - Y_{des}$;

3: $Z_{di} = Z_c - Z_{des}$; // حساب البعد للوصول للهدف من العقدة الحالية في الاتجاه العمودي

4: initiate all Weights to 0; // ضبط جميع الأوزان للصفر

5: **if** ($-1 \leq X_{di} \leq 1$ **and** $-1 \leq Y_{di} \leq 1$ **and** $-1 \leq Z_{di} \leq 1$) **then**

6: **if** ($Z_{di} > 0$) **then**

7: Down_weight = vertical_close

8: **else if** ($Z_{di} < 0$) **then**

9: Up_weight = vertical_close;

10: **end if**

11: **if** ($Y_{di} > 0$) **then**

12: South_weight = horizontal_close;

```

13: else if (Ydi < 0) then
14:     North_weight = horizontal_close;
15: end if
16: if (Xdi > 0) then
17:     East_weight = horizontal_close;
18: else if (Xdi < 0) then
19:     West_weight = horizontal_close;
20: end if
21: else
22: if (Zdi > 0) then
23:     Down_weight = vertical_far;
24: else if (Zdi < 0) then
25:     Up_weight = vertical_far;
26: end if
27: if (Ydi > 0) then
28:     South_weight = horizontal_far_min;
29:     North_weight = horizontal_far_detour;
30: else if (Ydi < 0) then
31:     North_weight = horizontal_far_min;
32:     South_weight = horizontal_far_detour;
33: end if
34: if (Xdi > 0) then
35:     East_weight = horizontal_far_min;
36:     West_weight = horizontal_far_detour;
37: else if (Xdi < 0) then
38:     West_weight = horizontal_far_min;
39:     East_weight = horizontal_far_detour;
40: end if
41: end if

```

أثناء التنفيذ والتجارب، لاحظنا أن تطبيق نفس استراتيجية التوجيه ذات المسار غير الاصغري على طول الطريق إلى الوجهة لم يعطي نتيجة أداء جيدة، لا سيما في وجود بعض النقاط الفعالة في الشبكة. وهو معروف وشائع في العديد من أنظمة العالم الحقيقي متعددة النواة real-world many-core systems [30]. على وجه الخصوص، عندما تكون نقطة فعالة بالقرب من الوجهة، سيكون من المحتمل جداً أن تختار الحزم

مسارًا غير بسيط وتتجول حول العقدة الوجهة، مما سينشر الازدحام على نطاق قريب من الوجهة ويمنع الحزم الأخرى التي تريد المرور من خلالها. لذلك، فإننا نأخذ المسافة من العقدة الحالية إلى الوجهة في الاعتبار. عندما يتم توجيه الحزمة بالفعل بالقرب من وجهتها، فإننا نمنع توجيهها بشكل خاطئ عن طريق ضبط تخصيص الوزن.

في الخوارزمية 1، نشير إلى فرق الاحداثيات بين العقدة الحالية والوجهة بـ X_{di} و Y_{di} و Z_{di} . يتم تعيين الأوزان الخاصة بـ $horizontal_close$ و $vertical_close$ على التوالي للاتجاه الرأسي والاتجاه الأفقي عندما تكون العقدة الحالية قريبة من الوجهة. في عملنا، يتم التعامل مع الحالة التي تكون فيها الوجهة ضمن قفزة واحدة في كل بُعد (أي ثلاث قفزات على الأكثر في المجموع إلى الوجهة) من العقدة الحالية على أنها قريبة "close". يتم تعيين الأوزان $vertical_far_min$ و $horizontal_far_min$ على التوالي للاتجاه الرأسي والاتجاه الأفقي على المسار الأصغر عندما تكون العقدة الحالية بعيدة عن الوجهة. يُخصص وزن $horizontal_far_detour$ للاتجاه الأفقي على مسار غير الأصغر من أجل تضليل الحزمة. ولكن بغض النظر عن "far" أو "close"، فإننا لا نسمح بالتوجيه الخاطئ في الاتجاه الرأسي، حيث سيؤدي ذلك إلى زيادة كبيرة بسبب النطاق الترددي المحدود للإرسال الرأسي.

أثناء التجارب، وجدنا أن أداء الشبكة يعتمد بشكل كبير على قيم الوزن للحالة "بعيدًا عن الوجهة". بناءً على مقارنة الإنتاجية بين مجموعات الأوزان المختلفة، فقد حصلنا على مجموعة من قيم الوزن التي تعطي أفضل أداء. سيتم عرض العلاقة بين توزيع الوزن والأداء وتحليلها في القسم الرابع.

ب. تجنب الجمود

بشكل عام، يتطلب التوجيه التكيفي تصميمًا دقيقًا لخوارزمية التوجيه لتجنب الجمود. يحدث الجمود في شبكة الاتصال البيئي عندما يكون هناك تبعية دورية لموارد مثل المخازن المؤقتة والقنوات. في عملنا، نستخدم القنوات الافتراضية بالإضافة إلى مخطط رقم انعكاس البعد (DR) number scheme dimension reversal [31] لتجنب

التبعية الدورية. وبالتالي سيتم تخصيص رقم ($DR \#$) لكل حزمة، وهو عدد المرات التي تم فيها توجيه الحزمة من بُعد أعلى إلى بُعد أقل. يتم تحديد $DR\#s$ على النحو التالي:

- (1) تمت تهيئة $DR\#s$ لجميع الحزم إلى 0
- (2) في كل مرة يتم توجيه حزمة من قناة في البعد D_i إلى قناة في البعد D_j ، إذا كانت $j > i$ ، يتم زيادة $DR\#$.

استنادًا إلى حقيقة أننا نعتبر الاتجاه الرأسي أولاً، يكون ترتيب الأبعاد هو Z و Y و X . وتنقسم جميع القنوات الافتراضية أيضًا إلى فئات من 0 إلى r (توجد $r+1$ قناة افتراضية في كل منفذ)، حيث r الحد الأعلى لعدد انعكاسات الأبعاد المسموح بها. قد يتم توجيه الحزم التي تحتوي على $DR\# < r$ إلى أي اتجاه ولكن يجب أن تستخدم قناة افتراضية من الفئة $DR\#$. بمجرد أن تقوم الحزمة باستخدام كل انعكاسات أبعادها، مما يعني $DR\# = r$ ، يجب أن تبدأ في القيام بتوجيه ترتيب البعد من خلال القناة الافتراضية r .

ج. حساب حالة حركة المرور

في مخططنا، يتم قياس حركة المرور في كل اتجاه من خلال مساحة المخزن المؤقت المتبقية في العقدة المجاورة. يتم إرسال المعلومات في كل دورة من خلال اتصال إضافي بين العقد المجاورة. نظرًا لأن كل قناة افتراضية في نظامنا تحتوي على سعة تخزين لأربع فتحات، فإن عرض هذا الاتصال الإضافي هو 2 بت. بعد الحصول على معلومات مساحة المخزن المؤقت المجانية، نقوم بحساب حالة حركة المرور للاتجاه المقابل. هنا، نستخدم دالة مباشرة معطاة بواسطة

$$\text{حالة حركة المرور} = \text{مساحة التخزين المؤقت الخالية} \times \text{الوزن المخصص (1)}$$

د. وصف الخوارزمية العام

يتم تحديد اتجاه توجيه الحزمة في العقدة بناءً على قيمة حالة حركة المرور (تكون الأولوية القصوى للاتجاه الذي يحتوي على أكبر قيمة لشرط حركة المرور) كما هو موضح في الخوارزمية 2.

الخوارزمية 2: خوارزمية التوجيه التكيفية لتوزيع حركة المرور في شبكات ثلاثية

الابعاد

Input: Traffic, (Xdi, Ydi, Zdi), DR# //مدخلات الخوارزمية

Output: Next Hop (E, W, N, S, U, D, L) // الخرج هو الفقرة التالية

1: **if** (Xdi = Ydi = Zdi = 0) **then**

2: Deliver the packet to the local node and **exit**; // عند الوصول للهدف

3: **end if**

4: **if** (DR#<r) **then**

5: *next_hop* = Best (Traffic condition of all directions);

6: **else if** (DR#=r) **then**

7: **return** lowest dimension differs from the destination;

8: **end if**

في الخوارزمية، يعتمد الاتجاه الذي يجب أن تجتازه حزمة البيانات على فرق التنسيق بين العقدة الحالية والعقدة الوجهة، DR# للحزمة، بالإضافة إلى حالة المرور المحسوبة لجميع الاتجاهات الممكنة. في الحالات العامة، تأخذ الخوارزمية في الاعتبار أربعة اتجاهات مرشحة باستثناء الاتجاه الذي وصلت منه الحزمة. ومع ذلك، في حالة أن العقدة الحالية هي مصدر الحزمة، نحتاج إلى الاختيار من بين خمسة اتجاهات مرشحة وفقاً لظروف حركة المرور. التابع Best هو اختيار الاتجاه ذي القيمة الأكبر، مما يعني الاتجاه الأقل ازدحاماً، ثم إرجاع هذا الاتجاه (انظر الخوارزمية 3). في الحالات التي يتم فيها تساوي اتجاهين أو أكثر، نختار الاتجاه الأكبر وزناً لمنع الكثير من سوء التوجيه.

الخوارزمية 3: تابع اختيار الاتجاه الأفضل

Best ()

حالات المرور لجميع الاتجاهات المرشحة: الدخل

الاتجاه ذو أفضل حالة حركة مرور: الخرج

1: **for** all candidate directions

2: choose *the direction* with maximum traffic condition value

3: **if** (*the direction* with best traffic is unique) **then**

4: **return** *the direction*;

5: **else if** (two or more directions are tied to be the best) **then**

6: **return** *the direction with biggest weight*;

6: **end if**

7: **end for**

4. النتائج التجريبية

أ. الإعداد التجريبي

لإثبات فعالية خوارزمية التوجيه التكيفية المقترحة الموضحة أعلاه، قمنا أيضًا بتنفيذ خوارزمية توجيه ZYX التقليدية بالإضافة إلى خوارزمية التوجيه AdaptiveXYZ [21] تم إجراء المحاكاة على محاكي Noxim دقيق الدورة ونمذجة جميع المكونات الرئيسية لهيكل الشبكة ثلاثية الأبعاد وأجرينا محاكاة لقياس زمن الانتقال والإنتاجية للشبكة. كما استخدمنا نفس عدد القنوات الافتراضية لكل خوارزمية على شبكة ثلاثية الأبعاد بأكملها بحجم $4 \times 4 \times 4$. بالنسبة لجميع أجهزة التوجيه، قمنا بتعيين عرض القناة الأفقية على 32 بت وعرض القناة الرأسية على 8 بت ($4/1$ عرض القناة الأفقية). في تطبيقنا، يحتوي كل منفذ على أربع قنوات افتراضية، مما يعني أن كل حزمة يمكن أن تحتوي على توجيه انعكاس البعد ثلاث مرات على الأكثر. سعة المخزن المؤقت FIFO لكل قناة افتراضية هي أربع وحدات.

كمقياس للأداء، نستخدم زمن الانتقال المحدد على أنه عدد الدورات بين بدء إرسال رسالة صادرة عن عنصر معالجة في العقدة المصدر والوقت الذي يتم فيه تسليم الرسالة أخيراً إلى العقدة الوجهة. كمقياس أداء آخر، نستخدم معدل نقل الشبكة، والذي يتم قياسه بعدد flits المستلمة على مدار دورات المحاكاة الإجمالية. يتم تسخين جهاز المحاكاة لـ 10000 دورة ثم يتم قياس متوسط الأداء على مدى 100000 دورة لاحقة.

من أجل المحاكاة، استخدمنا ثلاثة أمثلة تركيبية بأنماط حركة مرور مختلفة: حركة مرور عشوائية موحدة uniform random traffic، وحركة مرور نقطة فعالة hotspot traffic، وحركة مرور متمم البت bit-complementary traffic. في نمط المرور العشوائي الموحد، تولد كل عقدة رزمًا لكل وجهة باحتمالية متساوية. في نمط مرور النقاط الفعالة، يتم اختيار عقدة أو أكثر كنقاط فعالة تتلقى جزءًا إضافيًا من حركة المرور بالإضافة إلى حركة المرور الموحدة. في المحاكاة الخاصة بنا، يتم اختيار العقدة (2، 2، 2) كنقطة ساخنة ويتم توجيه 15% من الرسائل التي تم إنشاؤها إلى نقطة الاتصال. في نمط الحركة لمتتم البت، ترسل كل عقدة حزمًا إلى العقدة التكميلية للبتات الخاصة بها، والتي يتم تحديدها بواسطة مكمل البتات لمعرف العقدة الخاص بها المرقم بترتيب البعد. على سبيل المثال، العقدة (0، 2، 1) ترسل حزمًا إلى العقدة (3، 1، 2). وبالتالي، يجب أن تمر كل حزمة مرسله من خلال اتصال بين الطبقات، والذي يوضح بشكل أفضل تأثير توزيع الحمل في الاتجاه الرأسي.

ب. تحليل الأداء

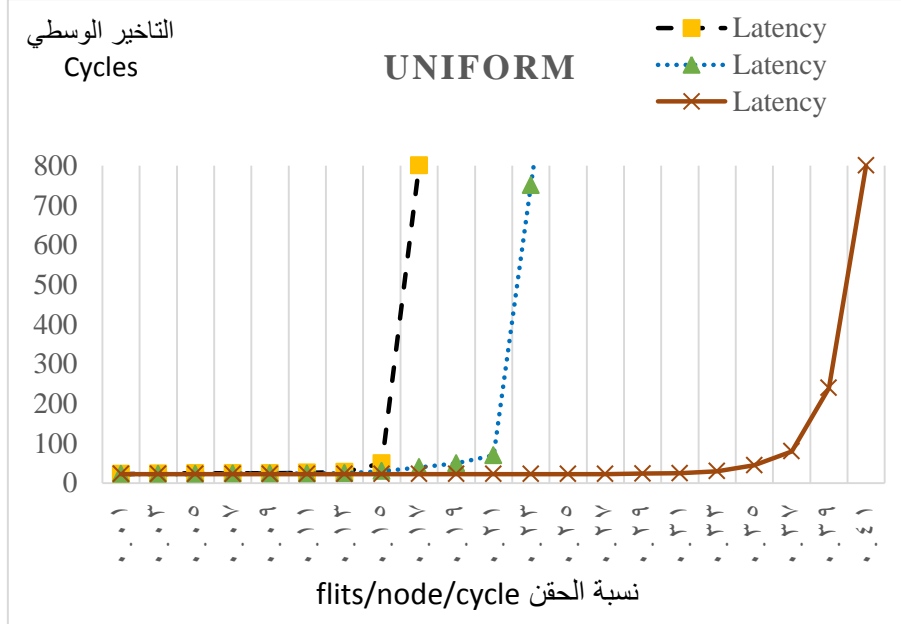
كما هو مبين في الأشكال (7، 6، 5، 4، 9، 8)، في جميع أنماط المرور الثلاثة، تتفوق خوارزمية التوجيه المقترحة على توجيه ZYX وتوجيه AdaptiveXYZ في كل من زمن الانتقال والإنتاجية. هذا يأتي من نقطتين. أولاً، من خلال تعيينات الوزن المناسبة، يمكن للخوارزمية المقترحة استخدام الروابط الرأسية بشكل أفضل وتوزيع حركة المرور بشكل أكثر فاعلية عبر الشبكة بأكملها مقارنة بخوارزميات التوجيه الأخرى. علاوة على ذلك، تسمح الخوارزمية الخاصة بنا بتوجيه المسار غير الأدنى، والذي يمكنه توزيع

حركة المرور بشكل أفضل وتجاوز المنطقة المزدحمة في الشبكة بشكل أفضل. يوضح الجدول (1) ملخصاً للنتائج من حيث الحد الأقصى للإنتاجية التي تم الحصول عليها عن طريق زيادة معدل الحقن إلى أقصى حد حتى تشبع الشبكة. من الجدول، يمكننا أن نرى أن الخوارزمية المقترحة لها ميزة كبيرة على النهجين الآخرين. وخصوصاً في حركة المرور التكميلية للبت، نحصل على معدل نقل أعلى بنسبة 105.4% من AdaptiveXYZ نظراً لاستخدام الارتباطات الرأسية بشكل أفضل.

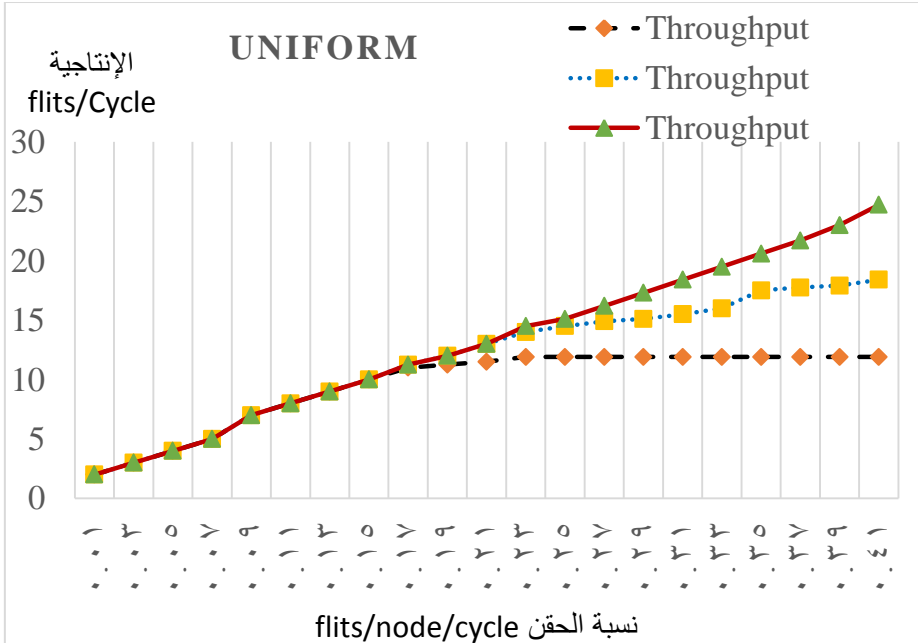
الجدول (1) تحسين الاداء الذي تحققه الخوارزمية المقترحة بالمقارنة مع خوارزمية XYZ

و Adaptive XYZ

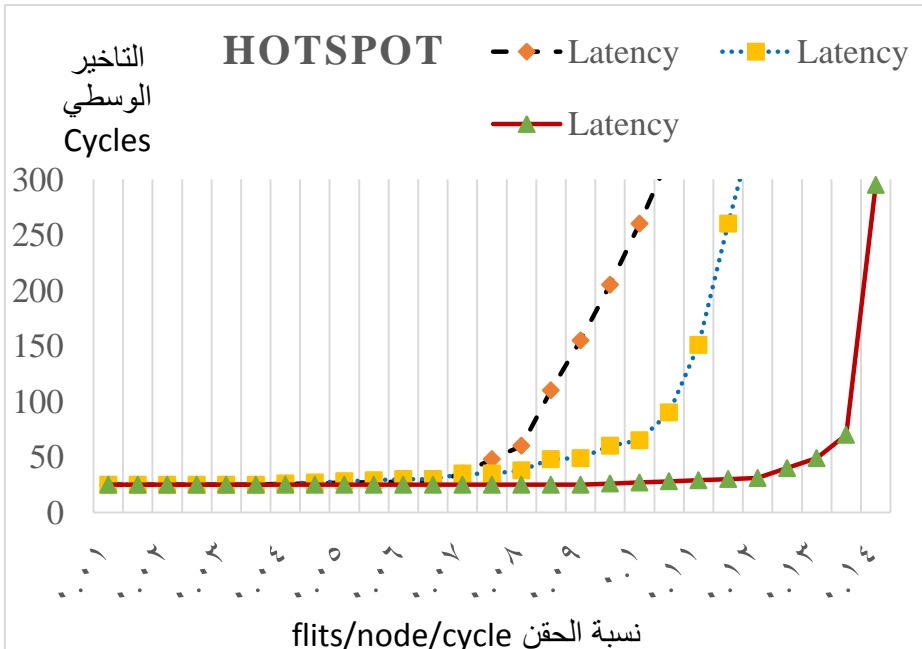
نمط حركة المرور	الإنتاجية flits/Cycle			التحسين بالمقارنة مع	
	ZYX	Adaptive XYZ	proposed	XYZ	Adaptive XYZ
Uniform	11.9	18.4	24.7	107.56%	34.24%
Hotspot	5.4	5.7	6.2	14.81%	8.77%
Bit-Complementary	6.3	7.4	15.2	141.27%	105.4%



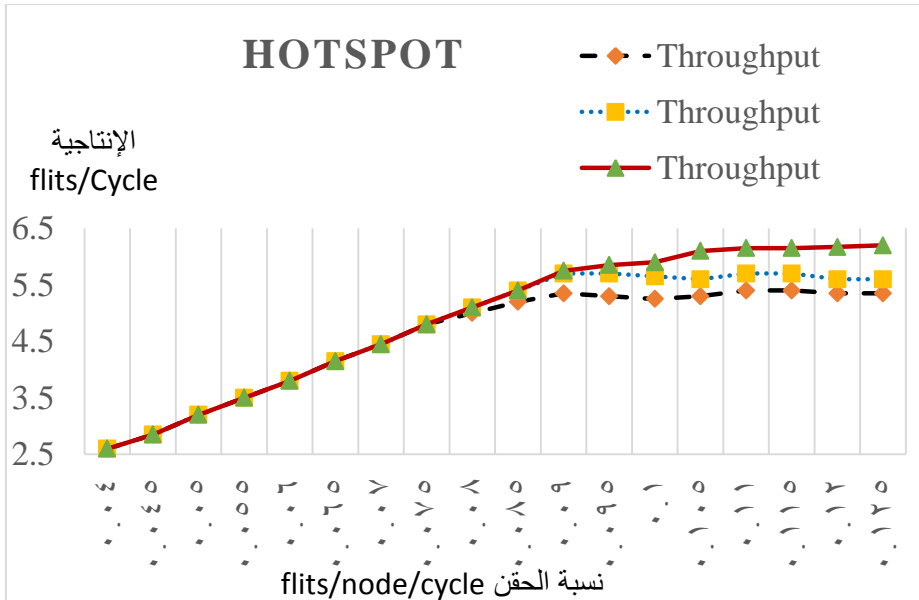
الشكل (4) التأخير الواسطي بالنسبة لملف حركة المرور العشوائية الموحدة



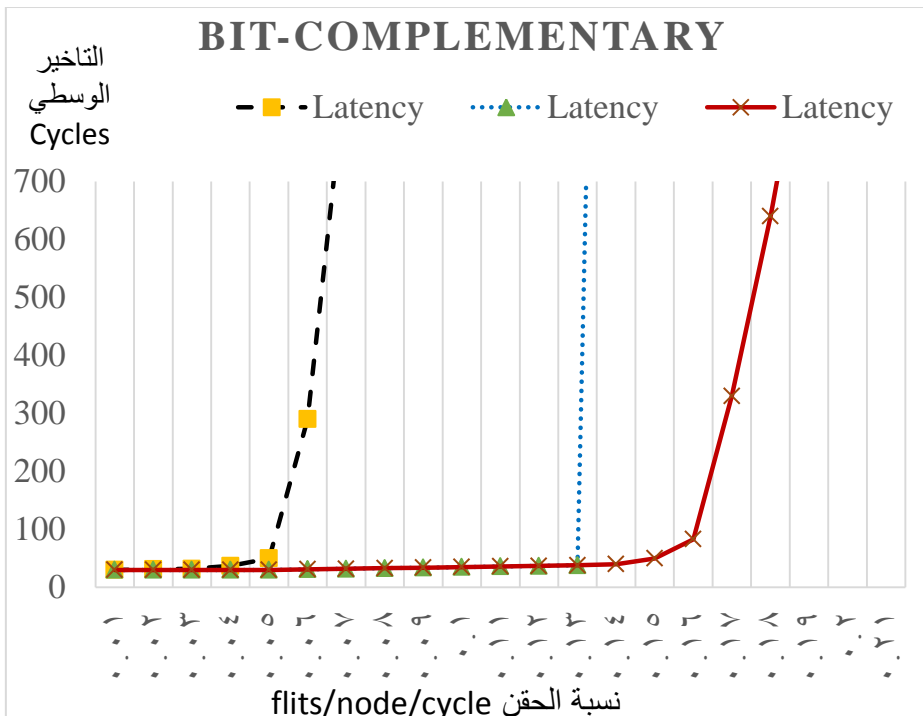
الشكل (5) الإنتاجية بالنسبة لملف حركة المرور العشوائية الموحدة



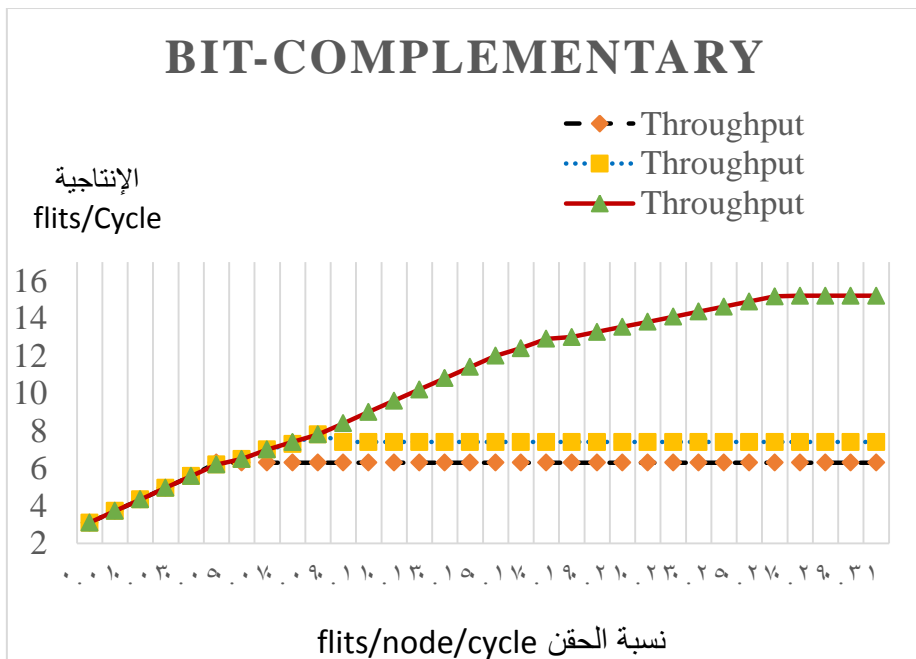
الشكل (6) التأخير الوسطي بالنسبة لملف النقطة الساخنة



الشكل (7) الإنتاجية بالنسبة لملف النقطة الساخنة



الشكل (8) التأخير الواسطي بالنسبة لملف متمم البت



الشكل (9) الإنتاجية بالنسبة لملف مكمل البت

ج. الحساسية لتخصيص الوزن والتطبيق

كما نوقش أعلاه، يعتمد الأداء على كيفية تعيين الأوزان. ومع ذلك، إذا كان الأداء شديد الحساسية لتباين قيم الأوزان أو لأنماط حركة المرور المختلفة، فسيكون من الصعب تعيين أوزان مناسبة. لقياس الحساسية، قمنا بدراسة الإنتاجية من أجل عدة قيم $horizontal_far_min/horizontal_far_detour$ والنسبة $vertical_far/horizontal_far_detour$.

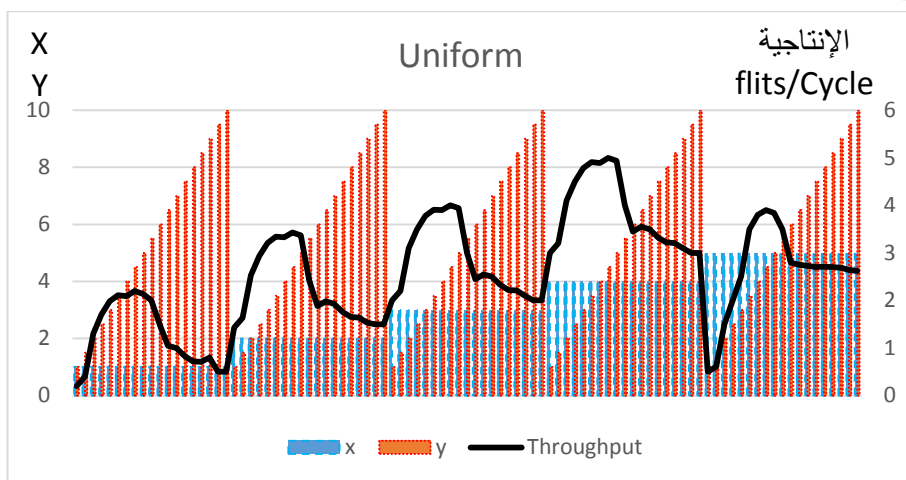
وتمكنا أن نرى أن الإنتاجية منخفضة جداً مع قيم x الصغيرة، حيث يكون وزن الاتجاهات غير الدنيا (التنافية) كبيراً نسبياً، مما يؤدي إلى الكثير من التضليل في التوجيه. في حالة حركة المرور في النقاط الساخنة وأنماط المرور العشوائية الموحدة، تكون النقطة المثلى عند $x = 4$ كما هو مبين في الشكل (10) الذي يوضح تغير الإنتاجية بالنسبة لنمط حركة المرور العشوائية الموحد مع تغير كل من النسب:

$$X = \text{horizontal_far_min} / \text{horizontal_far_detour}$$

$$Y = \text{coordinate is for vertical_far} / \text{horizontal_far_detour}$$

وفي حالة نمط المرور التكميلي للبت، تكون النقطة المثلى عند $x = 4.5$ ، لكن الأداء عند $x = 4$ ليس أسوأ بكثير من ذلك عند النقطة المثلى. لذلك اخترنا $x = 4$ كنسبة وزن لشبكتنا، والتي تساوي في الواقع حجم المخزن المؤقت لكل قناة افتراضية. هذا يعني أنه فقط عندما يتم استخدام المخزن المؤقت في الاتجاه الأدنى، سيتم توجيه الحزمة إلى اتجاه غير محدود، مما يعطي أصغر احتمال لسوء التوجيه. في ظل جميع أنماط الحركة الثلاثة، تكون النقطة المثلى عند $y = 5.5$ ، مما يعني أننا نعطي أهمية أكبر للروابط الرأسية مقارنة بالروابط الأفقية من أجل توجيه الحزم إلى الاتجاه الرأسي في وقت سابق لتجنب حركة المرور غير المتوازنة على الروابط الرأسية.

الأداء ليس حساسًا جدًا لتباين الأوزان بالقرب من النقطة المثلى. علاوة على ذلك، فإن النقطة المثلى لنمط مرور واحد توفر أيضًا أداءً جيدًا لأنماط حركة المرور الأخرى، مما يعني أن الأداء ليس حساسًا جدًا لأنماط حركة المرور المختلفة.



الشكل (10) تأثير الإنتاجية بتغيير الأوزان في نمط حركة المرور الموحد

5. الاستنتاج

في هذا البحث، اقترحنا توزيع لحركة المرور بتوجيه تكيفي لشبكة ثلاثية الأبعاد ذات عرض نطاق عمودي محدود. من خلال الاستخدام الفعال للروابط الرأسية وتوزيع الأحمال على الشبكة بالكامل، يمكننا تحسين زمن الوصول وإنتاجية الشبكة بشكل كبير. مقارنةً بخوارزمية التوجيه AdaptiveXYZ المقترحة مؤخرًا، حصل المخطط المقترح على ما يقرب من 50% أعلى من إجمالي الانتاجية تحت ثلاثة أنماط حركة، خاصة بالنسبة لنمط المرور التكميلي للبت، حصلت الخوارزمية المقترحة على 105.4% أعلى من إجمالي الانتاجية. تعتبر الخوارزمية المقترحة قوية من حيث أن الأداء غير حساس لأنماط حركة المرور المختلفة. استخدمت محاكاتها فقط بنية ربط شبكية ثلاثية الأبعاد عادية، والتي تعتمد على توصيل العقدة بالعقدة. ومع ذلك، فهي لا تقتصر على الشبكة فقط ويمكن تطبيقها على طوبولوجيا أخرى مثل الهيكل الهجين للناقل عن طريق تعديل حساب الحركة العمودية لحساب قيمة ضغط الناقل [29] [21].

REFERENCES:

- [1] Li, C.-L.; Yoo, J.-C.; Han, T.H. Energy-efficient custom topology-based dynamic voltage-frequency island-enabled network-on-chip design. *J. Semicond. Technol. Sci.* **2018**, *18*, 352–359.
- [2] Fang, J.; Zong, H.; Zhao, H.; Cai, H. Intelligent mapping method for power consumption and delay optimization based on heterogeneous NoC platform. *Electronics* **2019**, *8*, 912. 3. Lee, Y.S.; Kim, S.; Han, T.H. Aging-resilient topology synthesis of heterogeneous manycore network-onchip using genetic algorithm with flexible number of routers. *Electronics* **2019**, *8*, 1458.
- [3] Lee, Y.S.; Kim, S.; Han, T.H. Aging-resilient topology synthesis of heterogeneous manycore network-onchip using genetic algorithm with flexible number of routers. *Electronics* **2019**, *8*, 1458.
- [4] Taheri, E.; Mohammadi, K.; Patooghy, A. On-off: A reactive routing algorithm for dynamic thermal management in 3d NoCs. *IET Comput. Digit. Tech.* **2018**, *13*, 11–19.
- [5] Chao, C.-H.; Chen, K.-C.; Yin, T.-C.; Lin, S.-Y.; Wu, A.-Y. Transport-layer-assisted routing for runtime thermal management of 3D NoC systems. *ACM Trans. Embed. Comput. Syst.* **2013**, *13*, 1–22.
- [6] Chen, K.-C.; Kuo, C.-C.; Hung, H.-S.; Wu, A.-Y.A. Traffic-and thermal-aware adaptive beltway routing for three dimensional network-on-chip systems. In *Proceedings of the 2013 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS2013)*, Beijing, China, 19–23 May **2013**; pp. 1660–1663.
- [7] WeldeZion, A.Y.; Ebrahimi, M.; Daneshtalab, M.; Tenhunen, H. Automated power and latency management in heterogeneous 3d nocs. In *Proceedings of the 8th International Workshop on Network on Chip Architectures*, Waikiki, HI, USA, 5 December **2015**; pp. 33–38.
- [8] Jiang, X.; Lei, X.; Zeng, L.; Watanabe, T. Fully adaptive thermal-aware routing for runtime thermal management of 3D network-on-chip. In *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists*, Hong Kong, China, 16–18 March **2016**.

- [9] Lee, Y.-S.; Hsin, H.-K.; Chen, K.-C.; Chang, E.-J.; Wu, A.-Y.A. Thermal-aware dynamic buffer allocation for proactive routing algorithm on 3D network-on-chip systems. In Proceedings of the Technical Papers of 2014 International Symposium on VLSI Design, Automation and Test, Hsinchu, Taiwan, 28–30 April **2014**; pp. 1–4.
- [10] Salamat, R.; Khayambashi, M.; Ebrahimi, M.; Bagherzadeh, N. LEAD: An adaptive 3D-NoC routing algorithm with queuing-theory based analytical verification. *IEEE Trans. Comput.* **2018**, *67*, 1153–1166.
- [11] Seiculescu, C.; Murali, S.; Benini, L.; De Micheli, G. SunFloor 3D: A tool for networks on chip topology synthesis for 3-D systems on chips. *IEEE Trans. Comput. Aided Des. Integr. Circuits Syst.* **2010**, *29*, 1987–2000.
- [12] Charif, A.; Coelho, A.; Ebrahimi, M.; Bagherzadeh, N.; Zergainoh, N.-E. First-last: A cost-effective adaptive routing solution for tsv-based three-dimensional networks-on-chip. *IEEE Trans. Comput.* **2018**, *67*, 1430–1444.
- [13] Zou, T.; Zhang, C.; Peng, X.; Peng, Y. An inter-layer-distance based routing algorithm for 3D network-onchip. In Proceedings of the CCF National Conference on Computer Engineering and Technology, Yinchuan, China, 15–17 August **2018**; pp. 26–37.
- [14] V.F. Pavlidis and E.G. Friedman, *Three-dimensional Integration Circuit Design*, Morgan Kaufmann, **2008**.
- [15] A.-M Rahmani et al., “Power and area optimization of 3D networks-onchip using smart and efficient vertical channels,” in Proc. PATMOS, **2011**, pp. 278-287.
- [16] H. Sangki, “3D super-via for memory applications,” *Micro-Systems Packaging Initiative (MSPI) Packaging Workshop*, **2007**.
- [17] C. Liu et al., “Vertical interconnects squeezing in symmetric 3D mesh Network-on-chip,” in Proc. ASP-DAC, **2011**, pp. 357-362.
- [18] K. Puttaswamy and G.H. Loh, “Thermal herding: microarchitecture techniques for controlling hotspots in high-performance 3D-integrated processors,” in Proc. ISCA, **2008**, pp. 251-261.

- [19] I. Loi, S. Mitra, T.H. Lee, S. Fujita, and L. Benini, "A low-overhead fault tolerance scheme for TSV-based 3D network on chip links," in Proc. ICCAD, **2008**, pp. 598-602.
- [20] S. Pasricha, "Exploring serial vertical interconnects for 3D ICs," in Proc. DAC, 2009, pp.581-586.
- [21] A.-M. Rahmani et al., "ARB-NET: a novel adaptive monitoring platform for stacked mesh 3D NoC architectures," in Proc. ASP-DAC, **2012**, pp. 413-418.
- [22] Intel Corporation, "A touchstone delta system description," in: Intel Advanced Information, **1991**.
- [23] C.J. Glass and L.M. Ni, "The turn model for adaptive routing," in Proc. ISCA, **1992**, pp. 278-287.
- [24] M. Li, Q. Zeng, and W. Jone, "DyXY – a proximity congestion-aware deadlock-free dynamic routing method for network on chip," in Proc. DAC, **2006**, pp. 849-852.
- [25] G. Ascia, V. Catania, M. Palesi, and D. Patti, "Implementation and analysis of a new selection strategy for adaptive routing in networks-on-chip", IEEE Trans. Comput., vol. 57, no. 6, pp. 809-820, June. **2008**.
- [26] S. Ma, N.E. Jerger, and Z. Wang, "DBAR: an efficient routing algorithm to support multiple concurrent applications in networks-on-chip", in Proc. ISCA, **2011**, pp. 413-424.
- [27] M. Ebrahimi et al., "CATRA- congestion aware trapezoid-based routing algorithm for on-chip networks," in Proc. DATE, **2012**, pp. 320-325.
- [28] S.Y. Lin et al., "Traffic-and thermal aware routing for throttled threedimensional network-on-chip systems," in Proc. VLSI-DAT, **2011**, pp. 1-4.
- [29] A.-M. Rahmani et al., "Congestion aware, fault tolerant, and thermally efficient inter-layer communication scheme for hybrid NoC-bus 3D architectures," in Proc. NOCS, **2011**, pp. 65-72.
- [30] G.J. Pfister and V.A. Norton, "Hotspot contention and combining in multistage interconnection networks," IEEE Trans.Comput., vol. 34, no. 10 ,pp. 943-948, 1985.

- [31] W.J. Dally and C.L. Seitz, "Deadlock-free adaptive routing in multicomputer networks using virtual channels," IEEE Trans.Parallel Distrib. Syst., vol. 1, no. 3, pp. 187-196, Oct.

دراسة وتحليل فعالية نظام الاتصال الضخم متعدد المدخل والمخارج الخالي من الخلايا (CF-MM)

- م. علي جحي: طالب دكتوراه - هندسة اتصالات - جامعة البعث - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - قسم هندسة الإلكترونيات والاتصالات.
- د.م شحادة الموسى: أستاذ - جامعة البعث - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - قسم هندسة الإلكترونيات والاتصالات.
- د.م مازن يوسف: مدرس - جامعة البعث - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - قسم هندسة الإلكترونيات والاتصالات.

الملخص:

يعرف نظام Massive MIMO الخالي من الخلايا (Cell Free Massive MIMO) بأنه نظام جديد يجمع بشكلٍ أساسي بين مزايا الشبكات الخليوية فائقة الكثافة (UDN) مع نظام Massive MIMO الخليوي للتغلب على نقاط الضعف الخاصة بها.

تتمثل إحدى طرق تصور الأمر في وجود شبكة تحتوي على مصفوفة Massive MIMO واحدة، يتم إعادة ترتيب هذه المصفوفة، ونشر الهوائيات الفردية في مواقع مختلفة ضمن المنطقة المراد تأمين التغطية لها، مع الاحتفاظ بنفس خوارزميات الإرسال / الاستقبال. وعند تقديم الخدمة لتجهيزات المستخدم، ترسل الهوائيات الموزعة كل إشارة بيانات باستطاعة وزاوية طور مختلفة بحيث تصل إلى جهاز المستخدم المرغوب بشكلٍ متزامن وبالتالي تقوي بعضها البعض. وبالمثل، تتم معالجة الإشارات المستقبلية عند مختلف الهوائيات الموزعة بشكلٍ مشترك لاستخراج البيانات من كل تجهيزات المستخدم.

كان الدافع الأساسي وراء نظام Massive MIMO الخالي من الخلايا تصميم بنية تحتية جديدة للشبكة قادرة على توفير معدلات نقل بيانات موحدة في منطقة التغطية، أي

التركيز على تحسين معدلات نقل البيانات التي يتمتع بها المستخدم، بدلاً من معدلات نقل البيانات المتوسطة أو معدلات الذروة، والتي هي بالفعل مرتفعة جداً في الشبكات الحالية.

قمنا في هذا البحث بالمقارنة بين أداء الشبكات الخالية من الخلايا والشبكات الخليوية التقليدية من خلال المحاكاة باستخدام برنامج MATLAB (R2018a). وتم تحليل ومقارنة معدلات نقل البيانات لكل مستخدم (Data Rate) ضمن سيناريوهات مختلفة لنشر نقاط الوصول الخاصة بنظام Massive MIMO الخالي من الخلايا، ثم قارنا بعد ذلك بين قيم نسبة الإشارة إلى الضجيج (SNR) على الوصلة الصاعدة (من UE إلى BS) التي تحققها الأنظمة الرئيسية المعتمدة في الجيل الخامس (5G) والمتمثلة بأنظمة Massive MIMO والخلايا الصغيرة (Small Cells) وقيم SNR لنظام Cell Free Massive MIMO المقترح. ثم قمنا بعد ذلك دراسة عامل آخر هام في تحديد جودة الأنظمة المستخدمة في الاتصالات اللاسلكية وهو قدرة هذا النظام على إزالة التداخل على الوصلة الصاعدة الناتج عن وجود عدة مستخدمين يرسلون باستخدام نفس المصادر الزمنية والترددية نحو محطة القاعدة الخاصة بخدمة كل منهم. وأخيراً درسنا قدرة هذا النظام على تركيز الإشارة نحو المستخدم المرغوب على الوصلة الهابطة في حالة الأمواج السننمترية والميلي مترية والذي قدم أداءً جيداً.

الكلمات المفتاحية: نظام Massive MIMO، الخلايا الصغيرة، نظام Massive MIMO الخالي من الخلايا، SINR.

Study and analysis the Efficiency of a Cell-Free Massive MIMO Communication System

Ali Jeha: Doctoral Student – Communication Engineering - Al-Baath University - Faculty of Mechanical and Electrical Engineering -Department of Electronics and Communications Engineering.

Dr. Chehada Moussa: Doctor - Al-Baath University - Faculty of Mechanical and Electrical Engineering -Department of Electronics and Communications Engineering.

Dr. Mazen Yousef: Doctor - Al-Baath University - Faculty of Mechanical and Electrical Engineering -Department of Electronics and Communications Engineering.

Abstract

Cell Free Massive MIMO is a new system that combines the best advantages of Ultra Dense Networks (UDN) with Massive MIMO Cellular System to overcome its weaknesses. One way to visualize it is to consider a network containing a single Massive MIMO array, deconstruct that array, and spread the individual antennas to different locations within the coverage area, while keeping the same transmit/receive algorithms. When servicing the user's equipment, the distributed antennas will then transmit each data signal of different power and phase angle, so that, it arrives at the desired user device simultaneously and thus reinforce each other. Likewise, the signals received at the various jointly distributed antennas are processing to extract data from all user equipment.

The primary motivation behind the Cell-Free Massive MIMO system was to design a new network infrastructure capable of providing uniform data rates in the coverage area, i.e. focusing on improving the data rates enjoyed by the user, rather than the average rates or peak rates, which are already too high in current networks.

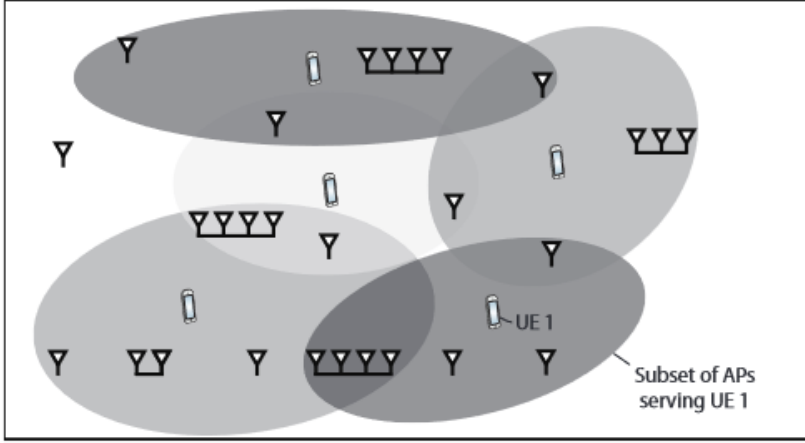
In this paper, we will compare the performance of cell-free networks and traditional cellular networks through simulation using MATLAB (R2018a) program. The data rates for each user will be analyzed and compared under different scenarios for deployment of cell-free Massive MIMO access points. We then introduce a comparison of the uplink SNR values (UE to BS) achieved by the 5G major Massive MIMO and Small Cells with SNR values by Cell-Free Massive MIMO Proposed system. Then, another important factor in determining the quality of the systems used in wireless communications will be studying, which is the ability of this system to remove the interference on the uplink resulting from the presence of several users sending using the same time and frequency sources to the base station of their service. Finally, the ability of this system to focus the signal towards the desired user on the downlink in the case of centimeter and millimeter waves studied and it performed well.

Key words: Massive MIMO System, Small Cells, Cell-Free Massive MIMO System, SINR.

المقدمة:

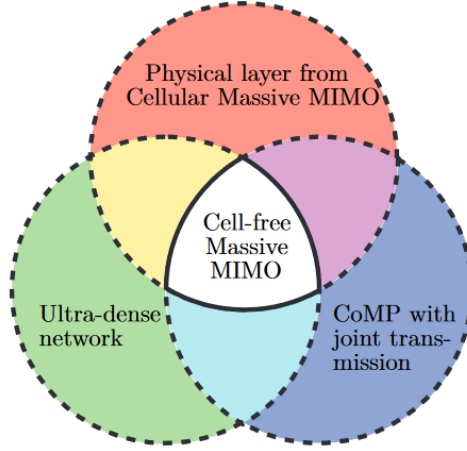
يبدو أن الطلب على معدلات نقل أعلى للبيانات (data rates) وعلى حجم أكبر لحركة البيانات (traffic volumes) لا ينتهي أبداً، وبالتالي يجب دائماً مواصلة العمل الدؤوب لتقديم الخدمات المطلوبة. وإحدى الطرق الأساسية المستخدمة لتوفير متطلبات معدلات نقل بيانات عالية لكل مستخدم عند إنشاء شبكة 5G هي تكثيف الشبكة، وهذا يعني زيادة عدد الهوائيات لكل محطة قاعدة وتصغير حجم الخلايا بقدر المستطاع. ومع ذلك، لن تفي الشبكات فائقة الكثافة UDN (Ultra-Dense Networks) ولا نظام Massive MIMO بمتطلبات معدل البيانات المتزايدة للاتصالات اللاسلكية من الجيل السادس (6G) بسبب عدة مشاكل منها التداخل بين الخلايا والتغيرات الكبيرة في جودة الخدمة [1,8].

تم التوجه حديثاً نحو نهج جديد لبناء الشبكة، بحيث يتم تنفيذ المعالجة المشتركة بين نقاط الوصول (APs) (Access points) بطريقة تتمركز حول المستخدم (user-centric)، حيث تتعاون نقاط الوصول المختارة ليتم تخديم كل مستخدم عن طريق إرسال مشترك متماسك فيما بينها (مجموعة خاصة بالمستخدم)، وكذلك تأخذ جميع نقاط الوصول التي تؤثر على المستخدم التداخل الناتج عنه في الاعتبار، كما هو موضح في الشكل (1) [1].



الشكل (1) - توزيع يتمحور حول المستخدم لنقاط الوصول المتعاونة، حيث تتواصل كل وحدة UE مع نقاط الوصول الأقرب.

إن الجمع بين عملية Massive MIMO التي تعتمد على التقسيم الزمني (TDD) (Time Division Duplexing)، وطوبولوجيا الشبكة ذات التوزيع الكثيف، وتصميم الإرسال المرتكز على المستخدم (User-Centric)، سوف يخلق مفهوماً جديداً، يُشار إليه باسم Cell-Free Massive MIMO كما هو مبين في الشكل (2) [2].

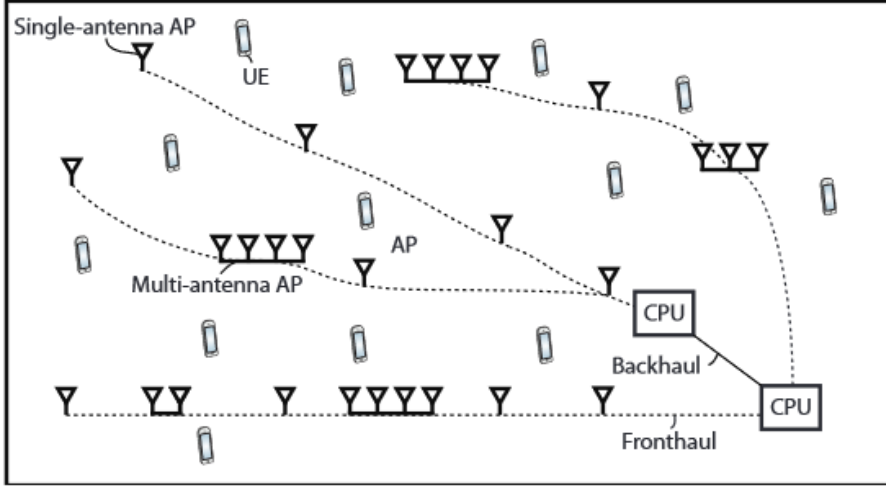


الشكل (2)- توضيح حول مبدأ نظام Cell Free Massive MIMO

تشير كلمة "Cell-Free" إلى أنه من منظور المستخدم، لا توجد حدود بين الخلايا أثناء نقل البيانات على الوصلة الهابطة DL، ولكن تتعاون جميع نقاط الوصول (أو مجموعة فرعية منها) التي تضمها الشبكة لخدمة المستخدمين بشكلٍ مشتركٍ ضمن نمط User-Centric.

ترتبط نقاط الوصول (APs) عبر الوصلات الأمامية (front-haul connections) بوحدات المعالجة المركزية (CPUs)، المسؤولة عن التنسيق فيما بينها. بينما يتم ربط وحدات المعالجة المركزية (CPU) ببعضها البعض عن طريق الوصلات الخلفية (back-haul connections) كما هو موضح في الشكل (3).

في الوصلة الصاعدة (UL)، يمكن إجراء كشف البيانات إما محلياً في كل نقطة وصول (AP)، أو مركزياً في وحدة المعالجة المركزية، أو جزئياً أولاً في كل نقطة وصول ثم في وحدة المعالجة المركزية [1].



الشكل (3) - تصور أولي لشبكة Cell-Free Massive MIMO

1. أهداف البحث:

- إنشاء نموذج حاسوبي لنظام Cell Free Massive MIMO وإجراء المقارنة مع أنظمة Massive MIMO و Small Cells المعتمدة في الجيل الخامس الذي بدأ تشغيله حالياً من خلال المحاكاة بواسطة برنامج (MATLAB(R2018a)).
- دراسة ومقارنة فعالية استخدام تقنية Cell Free Massive MIMO المقترحة في الجيل السادس (6G) من نظم الاتصالات اللاسلكية المتنقلة مع الشبكات الخليوية التقليدية من ناحية معدلات نقل البيانات (Data Rates) الممكن تحقيقها.
- تحديد أهمية النظام المقترح من ناحية نسبة الإشارة إلى الضجيج والقدرة على إزالة التداخل مقارنةً مع الأنظمة السابقة وتركيز الإشارة عند المستخدم المرغوب، وترشيحه ليكون نظاماً قابلاً للتطبيق في أنظمة الاتصالات اللاسلكية المستقبلية.

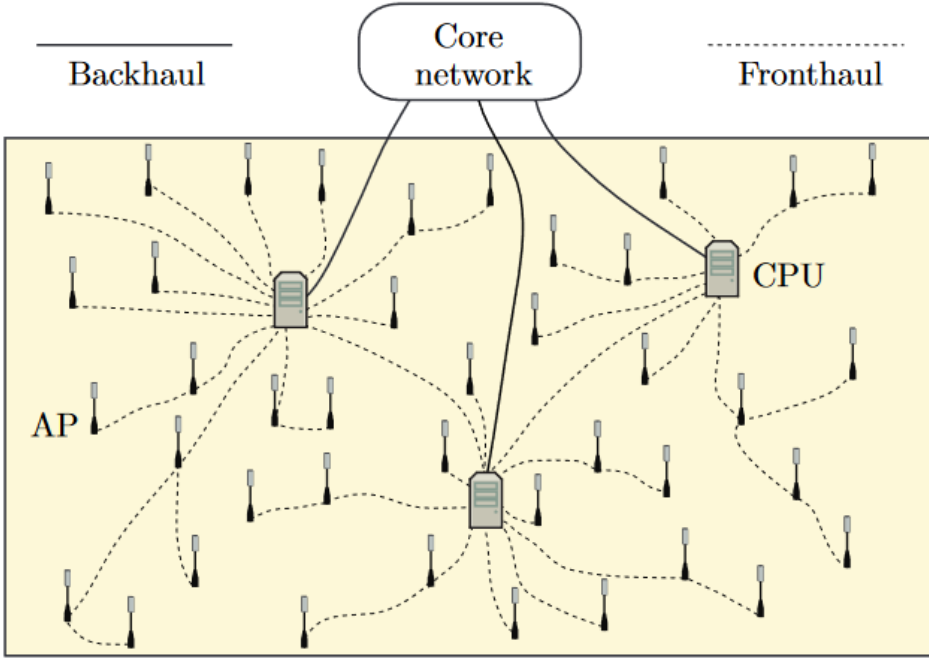
2. مواد وطرق البحث:

تم في هذا البحث المقارنة بين أداء نظام Cell Free Massive MIMO وبين أنظمة الهوائيات المتعددة المعتمدة في الجيل الخامس (5G) والمستندة إلى البنية الخليوية التقليدية وهي أنظمة Massive MIMO وأنظمة Small cells سواء من خلال معدل البيانات أو نسبة الإشارة إلى الضجيج (SNR) أو القدرة على إزالة التداخل على الوصلة الصاعدة (UL) من خلال محاكاة النظام باستخدام برنامج MATLAB(R2018a).

3. الشبكات الخالية من الخلايا (Cell Free Networks):

تتكون الشبكة الخالية من الخلايا (Cell-Free Network) من عدد من نقاط الوصول الموزعة جغرافياً والتي تخدم بشكلٍ مشتركٍ أجهزة المستخدمين الموجودة في المنطقة. يتم ربط كل نقطة وصول (AP) عبر وصلة أمامية (fronthaul) بوحدة معالجة مركزية (CPU)، والتي تكون مسؤولة عن التنسيق والتعاون بين نقاط الوصول. يمكن أن يكون هناك العديد من وحدات المعالجة المركزية (CPU) المتصلة جميعها عبر روابط خلفية، يمكن أن تكون سلكية أو لاسلكية. لدينا في الشكل (4) رسم توضيحي لشبكة خالية من الخلايا ذات نقاط وصول أحادية الهوائي.

يمكن تقسيم هذا النوع من الشبكات الخالية من الخلايا إلى حافة (Edge) ومركز (Core)، تماماً مثل الشبكات الخلوية. حيث توجد نقاط الوصول ووحدات المعالجة المركزية على الحافة وتسمى الاتصالات بينها روابط أمامية (fronthaul)، بينما تسمى الاتصالات بين الحافة والمركز روابط خلفية (backhaul). إن وحدات المعالجة المركزية (CPU) متصلة بالشبكة الأساسية عبر روابط خلفية، والتي تُستخدم لإرسال/استقبال البيانات من الإنترنت والمصادر الأخرى، لتسهيل خدمات البيانات المختلفة [3].



الشكل (4) - نموذج توضيحي للشبكة الخالية من الخلايا

في المقابل، يمكن استخدام الوصلات الأمامية (fronthaul) من أجل:

(1) مشاركة إشارات الطبقة الفيزيائية التي سيتم إرسالها في الوصلة الهابطة.

(2) إعادة توجيه إشارات بيانات الوصلة الصاعدة التي لم يتم ترميزها بعد.

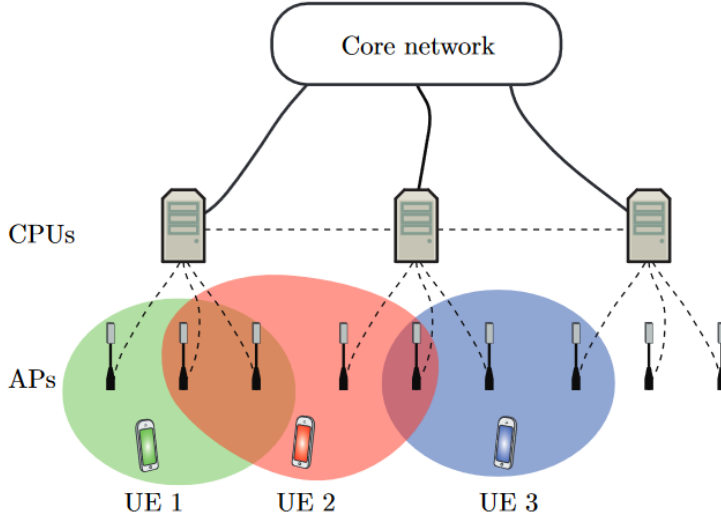
(3) مشاركة معلومات حالة القناة (CSI) (Channel State Information) المتعلقة بالقنوات الفيزيائية.

تسهل الوصلات الأمامية أيضاً مزامنة الطور بين نقاط الوصول الموزعة جغرافياً، من خلال توفير طور مرجعي مشترك (common phase reference).

يوضح الشكل (4) طوبولوجيا خاصة للواجهة الأمامية، حيث يتم توصيل بعض نقاط الوصول مباشرةً بوحدة المعالجة المركزية (CPU) بينما يتم توصيل نقاط الوصول الأخرى عبر نقطة وصول مجاورة.

قد لا تكون وحدة المعالجة المركزية (CPU) وحدة فيزيائية منفصلة ولكن يمكن اعتبارها كياناً منطقياً (Logical Entity)، على سبيل المثال، قد تمثل وحدات المعالجة المركزية مجموعة من المعالجات المحلية التي يمكن أن تكون موجودة في مجموعة فرعية من نقاط الوصول أو في مواقع فيزيائية أخرى، والتي تكون متصلة عبر الروابط الأمامية (fronthaul links). وتماشياً مع التضمين السحابي (Cloudification) المستمر للشبكات اللاسلكية، والمعروفة باسم شبكة الوصول الراديوي السحابية (C-RAN) (Cloud Radio Access Networks)، يمكن توزيع مهام المعالجة المتعلقة بوحدة المعالجة المركزية بين المعالجات المحلية بطرقٍ مختلفة.

من أجل مراعاة قيود التأخير في معالجة الحزمة الأساسية (Baseband)، فإن وحدة المعالجة المركزية هي معالج سحابي ضمن الحافة (edge-cloud processor) يقع في نفس المنطقة الجغرافية التي توجد فيها نقاط الوصول، ويمكن تنفيذ العديد من تقنيات الطبقة الفيزيائية المختلفة باستخدام بنية C-RAN. وهو الآن مستخدم بشكلٍ أساسي للشبكات الخلوية ولكنه أيضاً يمكن أن يكون الأساس للشبكات الخالية من الخلايا. يعطي الشكل (5) عرضاً تخطيطياً لشبكة خالية من الخلايا تستخدم بنية C-RAN.



الشكل (5) - الطبقات المختلفة للشبكة الخالية من الخلايا

نلاحظ من الشكل (5) أن الشبكة الخالية من الخلايا مقسمة إلى طبقات مختلفة:

- مركز الشبكة (Core network).
- طبقة وحدات المعالجة المركزية (CPUs).
- طبقة نقاط الوصول (APs).
- طبقة تجهيزات المستخدمين (UE).

يتم تخديم جهاز المستخدم بواسطة بعض نقاط الوصول، على سبيل المثال، من نقاط الوصول المجاورة له، كما في المناطق المظللة في الشكل (5).

يخصص لكل مستخدم (UE)، إحدى نقاط الوصول المحددة هو ما يسمى Master AP وبالتالي ستكون نقطة الوصول هذه مسؤولة عن خدمة هذا الجهاز وتعيين وحدة المعالجة المركزية التي سيتم فيها تنفيذ فك تشفير بيانات الوصلة الصاعدة وتشفير بيانات الوصلة الهابطة. توفر وحدة المعالجة المركزية هذه بيانات الوصلة الهابطة لجميع نقاط الوصول

التي يتم إرسالها إلى المستخدم (UE) وتجمع / تدمج الإشارات المستقبلية للوصلة الصاعدة التي تم الحصول عليها في نقاط الوصول هذه في خطوة فك التشفير النهائية. يمكن تخديم جهاز المستخدم UE بواسطة نقاط وصول متصلة بوحدات معالجة مركزية مختلفة، حيث يوجد رابط أمامي بين كل زوج من نقاط الوصول حتى لو كان يمر عبر كيانات أخرى [4].

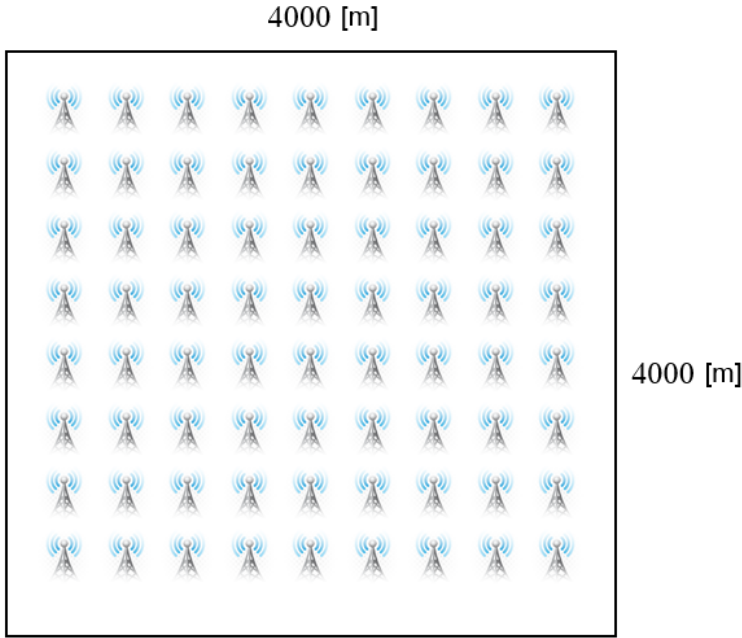
4- النتائج والمناقشة:

4.1- مقارنة بين الشبكات الخالية من الخلايا والشبكات الخليوية التقليدية:

هناك العديد من الجوانب التي تتفوق بها الشبكات الخالية من الخلايا مقارنةً مع الشبكات الخليوية التقليدية ولعل أبرزها أنها توفر أداءً ثابت ضمن نطاق تغطية الشبكة وهذه الفكرة التي سنبدأ بها عملنا في بحثنا هذا وذلك من خلال دراسة معدلات نقل البيانات التي يتم تحقيقها من خلال جهاز مستخدم (UE) (Data Rates [Mbit/s/user]) ويتم دراسة ذلك في مواقع مختلفة عشوائية ضمن نطاق التغطية لشبكة خالية من الخلايا ومقارنتها مع معدلات نقل البيانات لشبكة خليوية تقليدية.

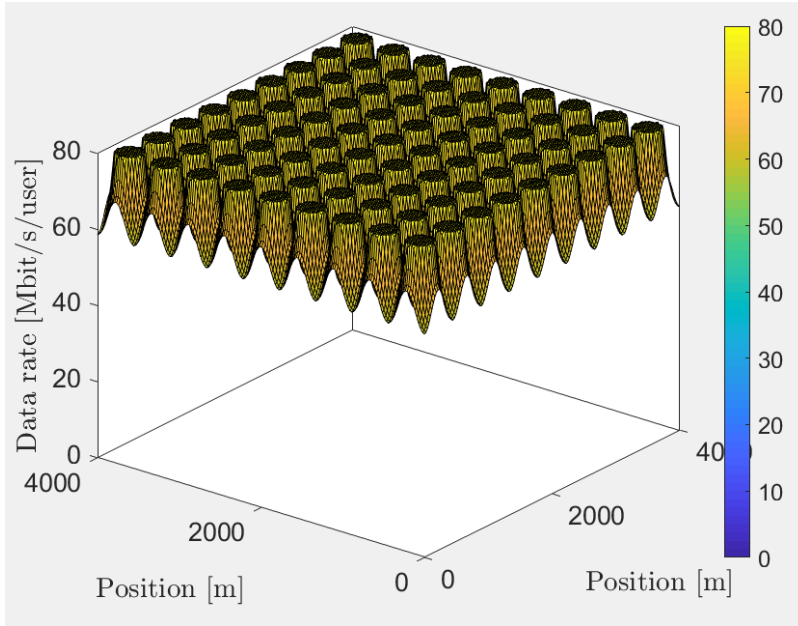
نفترض أن بيئة المحاكاة عبارة عن مربع يمثل المنطقة المراد تغطيتها ويتم اختيار أبعاده بحيث تكون موافقة لمنطقة مفترضة بحجم بلدة صغيرة يراد تخديمها بالاتصالات اللاسلكية ودراسة معدلات نقل البيانات ضمن هذه المنطقة، نفترض أن طول كل ضلع من أضلاعه [Km] 4 وأنه يتم توزيع 81 نقطة وصول (APs) كل منها مزودة بهوائي وحيد بشكلٍ منتظم ضمن مساحة المربع بحيث تشغل 9 صفوف و 9 أعمدة (9 × 9). ويتم قياس معدل البيانات في 400 موقع مختلف لجهاز المستخدم وتكون هذه المواقع موزعة بشكلٍ منتظم ضمن بيئة المحاكاة كما هو موضَّح في الشكل (6).

نعتبر أن أعلى فعالية طيفية يمكن تحقيقها هي $8 \text{ [bit/sec/Hz/user]}$ [3] وأن عرض الحزمة المستخدم يساوي 10 [MHz] وهي توافق البارامترات المعتمدة في الجيل الخامس، وبالتالي فإن أعلى معدل بيانات يمكن تحقيقه يساوي إلى $80 \text{ [Mbit/sec/user]}$. ويوضح الشكل (7) نتيجة المحاكاة في حالة شبكة خالية من الخلايا، بينما يقدم الشكل (8) معدل البيانات في حالة شبكة خلوية تقليدية. نلاحظ من الشكل (7) أن معدلات نقل البيانات في مختلف المواقع ضمن بيئة المحاكاة تبقى قريبة من بعضها دون تغيرات كبيرة حيث أنها تتراوح بين 59 إلى $80 \text{ [Mbit/sec/user]}$.



الشكل (6) - رسم توضيحي لبيئة المحاكاة المقترحة

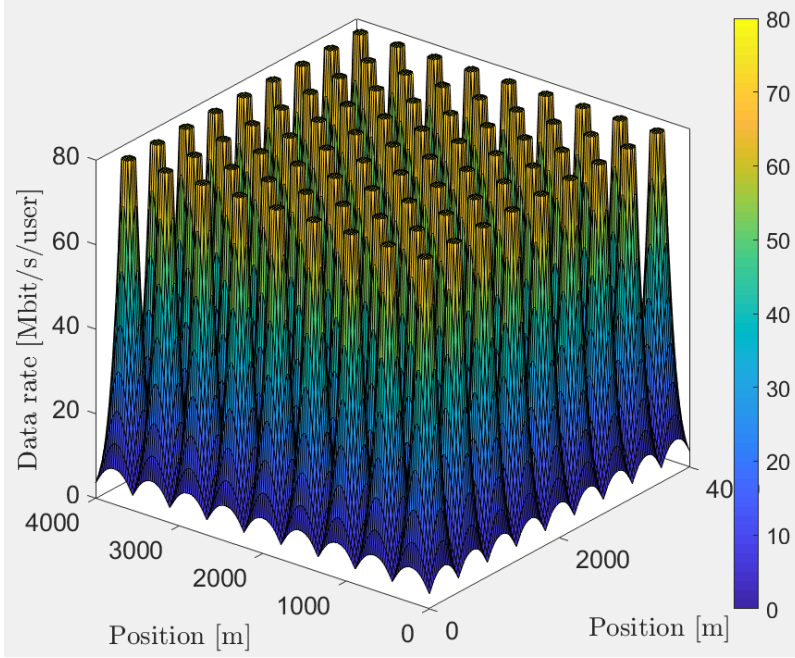
ويعود ذلك بشكلٍ أساسي إلى التنوع المكاني (Macro diversity) الكبير الناتج عن العدد الكبير من نقاط الوصول التي تخدم كل مستخدم، وانخفاض المسافة بين المستخدم وأقرب نقاط الوصول التي تخدمه. مما يزيل التداخل بشكلٍ كبير والذي يعد مشكلة رئيسية في الشبكات الخليوية التقليدية.



الشكل (7) - معدل نقل البيانات عند المستخدم في حالة شبكة خالية من الخلايا

بينما نلاحظ من الشكل (8) أن معدلات نقل البيانات تتراوح بين الصفر أو قيم قريبة جداً منه عند حافة كل خلية حتى قيم عظمى تقدر بـ $80 \text{ [Mbit/sec/user]}$ في مركز كل خلية ويعود السبب في ذلك إلى تخامد الإشارة مع البعد عن مركز الخلية نتيجة اعتماد نموذج فقد المسار الحر (free space loss) ضمن المحاكاة وبالتالي يكون ربح الإشارة الأعلى بالقرب من مركز الخلية حيث يكون الفقد منخفضاً جداً بينما يزداد الفقد مع الاقتراب من حافة الخلية مما يعني معدلات نقل بيانات أقل قد تصل إلى 0

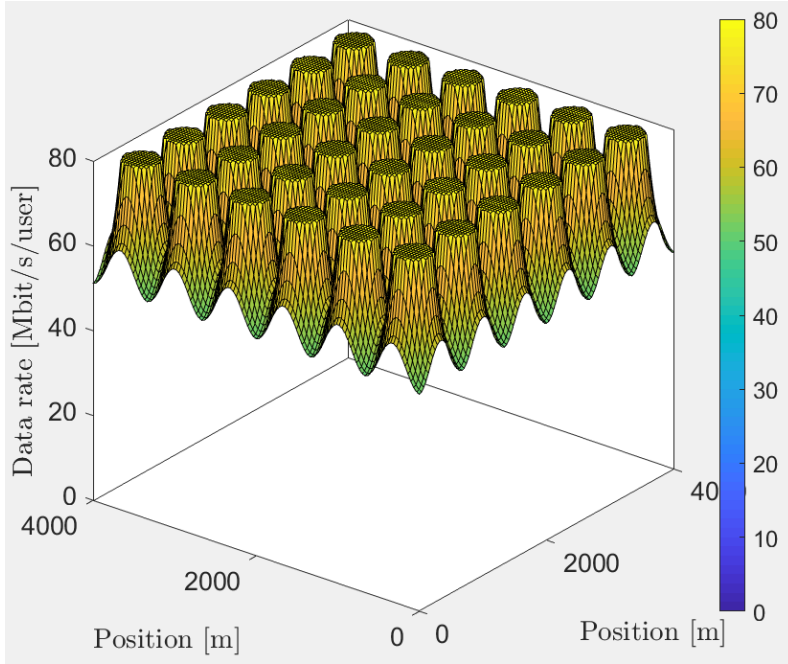
[Mbit/s/user] في بعض الحالات، وهذه إحدى المشاكل الأساسية التي تدفع نحو الانتقال باتجاه الشبكات الخالية من الخلايا.



الشكل (8) - معدل البيانات عند المستخدم في حالة شبكة خلية

ننتقل الآن إلى دراسة حالة مقارنة أخرى تخص نظام Cell Free Massive MIMO من خلال المقارنة بين عدد كبير من نقاط الوصول قدره $N=81$ كما في الحالة السابقة كل منها مزودة بهوائي واحد وموزعة جغرافياً ضمن بيئة المحاكاة وبين وجود عدد أقل من نقاط الوصول عدده $N=36$ كل منها مزود ب 3 هوائيات لتخدم نفس العدد من تجهيزات المستخدمين، ويوضح الشكل (9) معدلات نقل البيانات في حالة نظام Cell Free Massive MIMO يتضمن عدد نقاط وصول أقل مزودة بعدد أكبر من الهوائيات $M=3$ ، أن معدلات نقل البيانات تتراوح بين 51 إلى 80 [Mbit/sec/user].

بالمقارنة بين نتيجة المحاكاة في الحالة الأولى عندما يكون $N=81$ و $M=1$ والموضحة بالشكل (7)، ونتيجة المحاكاة في الحالة الثانية عندما يكون $N=36$ و $M=3$ والموضحة بالشكل (9) نجد أن حالة العدد الكبير من نقاط الوصول والمزودة بهوائي وحيد تقدم أداءً أفضل مقارنةً بحالة تخفيض عدد نقاط الوصول وزيادة عدد الهوائيات في كل منها رغم أن العدد الإجمالي للهوائيات المستخدمة في الحالة الثانية يتفوق على عدد الهوائيات في الحالة الأولى وذلك بسبب ربح التنوع المكاني الكبير (Macro Diversity) الذي يوفره العدد الكبير من نقاط الوصول الموزعة جغرافياً والذي يبدي تفوقاً على الربح الناتج عن استخدام عدد أكبر من الهوائيات في كل نقطة وصول.



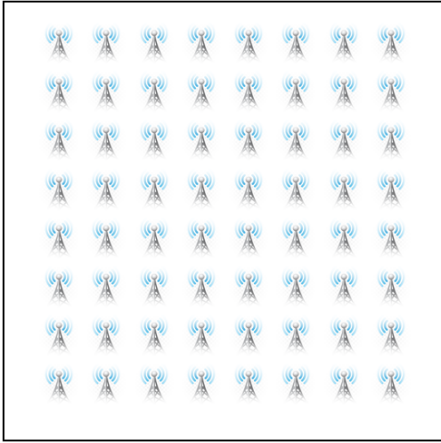
الشكل (9) - معدل البيانات عند المستخدم في حالة شبكة خالية من الخلايا، في حالة

$$M=3 \text{ و } N=36$$

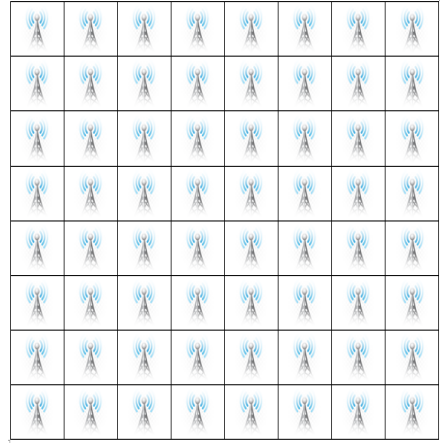
2.4- مقارنة القدرة على إزالة الضجيج بين نظام Cell Free Massive MIMO وأنظمة الهوائيات المتعددة الخليوية التقليدية:

نقدم في هذه الفقرة مقارنة بين قيم نسبة الإشارة إلى الضجيج (SNR) (Signal to Noise Ratio) على الوصلة الصاعدة-التي تحققها الأنظمة الرئيسية المعتمدة في الجيل الخامس (5G) والمتمثلة بأنظمة Massive MIMO [5] والخلايا الصغيرة (Small Cells) [6] مع قيم SNR لنظام Cell Free Massive MIMO المقترح استخدامه في أنظمة الجيل السادس (6G) وذلك من خلال رسم منحنيات تابع التوزيع التراكمي (CDF) لنسبة الإشارة إلى الضجيج للأنظمة المقترحة.

نفترض هنا بيئة محاكاة ذات شكل مربع حيث يتم توزيع محطات القاعدة ضمنها وجهاز مستخدم وحيد (UE) ضمن هذه البيئة مع افتراض وجوده في أماكن مختلفة وأخذ قيمة متوسطة لنسبة SNR عند هذا الجهاز، حيث أنه في نظام Massive MIMO يتم افتراض وجود محطة قاعدة واحدة مزودة بمصفوفة هوائيات عددها 64 هوائي تقع في مركز المربع، بينما في حالة Small cell يتم افتراض أن 64 نقطة وصول (APs) موزعة ضمن بيئة المحاكاة بشكل منتظم وفق ثمانية أسطر وثمانية أعمدة، ويتم تخديم المستخدم من محطة القاعدة الأقرب التي توفر أفضل ربح قناة للمستخدم. أما في حالة نظام Cell Free Massive MIMO فيكون توزيع نقاط الوصول كما هو في حالة Small Cells إلا أن الفرق بينهما هو أنه في هذه الحالة تتعاون جميع نقاط الوصول لتخدم المستخدم المرغوب مما يجعلنا نفترض أنه سيحصل على نسبة SNR أعلى مقارنة مع الأنظمة الأخرى ولا يوجد أي تقسيم لمنطقة الخدمة إلى خلايا. ويوضح الشكل (10) البيئة المقترحة لمحاكاة الأنظمة الثلاث.

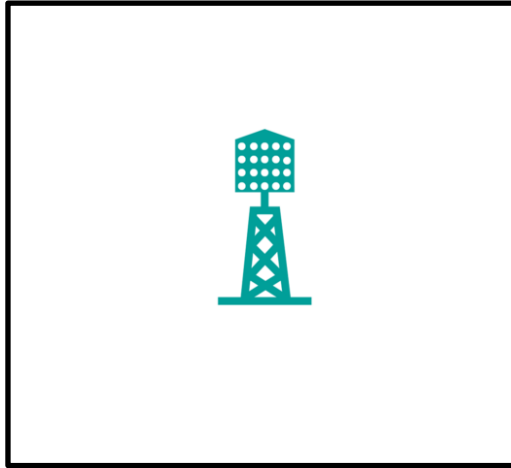


Cell Free Massive نظام (ب)-



Small Cells نظام (أ)-

MIMO



Massive MIMO نظام (ج)-

الشكل (10) - إعدادات بيئة المحاكاة للأنظمة المقترحة للمقارنة من ناحية SNR

وفقاً لخصائص الانتشار، تعاني قنوات الاتصالات من فقد المسار (Path Loss) حيث أنه مع المسافة وابتعاد الإشارة عن المرسل فإن الاستطاعة المرسله تتناقص وتكون

الاستطاعة المستقبلية أقل من الاستطاعة المرسلية وهذا ما يمكن التعبير عنه وفق نموذج Log-Distance Path-Loss (LDM) [7] المعطى بالعلاقة:

$$PL(d)[dB] = PL_{dB}(d_0) + 10n \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + X_\sigma, \quad d \geq d_0 \quad (1)$$

حيث أن d_0 تعبر عن مسافة مرجعية، بينما تعبر $PL_{dB}(d_0)$ عن فقد المسار عند المسافة المرجعية المفترضة، بينما يعبر عن الحد الثاني عن فقد المسار عند كل عشر أضعاف زيادة عن المسافة السابقة، أما X_σ فتعرف بعامل الظل (shadow factor). ومن أجل $d_0 = 1 \text{ m}$ و $X_\sigma = 0 \text{ [dB]}$ ، تصبح المعادلة السابقة كالتالي [7]:

$$PL(d)[dB] = -30.5 - 36.7 \log_{10} \left(\frac{d}{1\text{m}} \right) \quad (2)$$

أما من أجل نظام Massive MIMO، المبين في القسم (ج) من الشكل (10) والذي يفترض وجود محطة قاعدة (BS) واحدة في مركز منطقة المحاكاة مزودة بمصفوفة ذات 64 هوائي، وكما ذكرنا سابقاً، يتم خدمة مستخدم واحد ضمن المنطقة المحددة، ونفرض أن إشارة الوصلة الصاعدة لهذا النظام تعطى بالعلاقة [5]:

$$Y = gs + n \quad (3)$$

حيث تعبر y عن الإشارة المستقبلية من قبل مصفوفة هوائيات محطة القاعدة، وتعبر s عن الإشارة المرسلية من جهاز المستخدم، بينما $g = [g_1 \dots g_M]^T \in C^M$ شعاع يعبر عن استجابة القناة بين جهاز المستخدم والهوائيات M في محطة القاعدة، وتعبر n عن الضجيج الذي يتم استقباله.

والآن يجب على محطة القاعدة أن تخمن الإشارة المرسله s وذلك باستخدام إحدى تقنيات التجميع (Combining) من خلال ضرب الإشارة المستقبلية y بشعاع التجميع $V \in C^M$ ، كما يلي [5]:

$$S = V^H \times Y = V^H g s + V^H n \quad (4)$$

حيث تعبر H عن المرافق العقدي لمنقول شعاع التجميع V .

وبالتالي يمكن الحصول على نسبة الإشارة إلى الضجيج SNR لهذا النظام وفق العلاقة:

$$\frac{E\{|V^H g s|^2\}}{E\{|V^H n|^2\}} = \frac{P|V^H g|^2}{\sigma_{UL}^2 \|V\|^2} \quad (5)$$

حيث تعبر P عن استطاعة الإشارة المرسله، بينما تعبر σ_{UL}^2 عن تباين الضجيج.

يتم اختيار الشعاع V من قبل محطة القاعدة اعتماداً على استجابة القناة (g) بحيث نحصل على أعلى SNR. للبساطة نختار طريقة تجميع النسبة العظمى (MR) (Maximum Ratio) حيث يتم اختيار شعاع التجميع المسوى (unit-norm) وفق العلاقة:

$$V = \frac{g}{\|g\|} \quad (6)$$

وبتعويض قيمة V ، نحصل على SNR وفق العلاقة التالية وباستخدام نموذج القناة الذي ذكر سابقاً نحصل على:

$$SNR_{Massive MIMO} = \frac{P}{\sigma_{UL}^2} \|g\|^2 = \frac{P}{\sigma_{UL}^2} MPL(d) \quad (7)$$

ومن العلاقة نجد أن SNR تتناسب بشكلٍ طردي مع عدد هوائيات مصفوفة محطة القاعدة.

أما في حالة Small cells فإن واحدة فقط من نقاط الوصول هي التي تخدم جهاز المستخدم (UE)، ويتم اختيار نقطة الوصول ذات القناة الأفضل التي توفر أعلى SNR. بالتالي فإن إشارة الوصلة الصاعدة تعطى بالعلاقة:

$$Y=h_l s+n_l \quad (8)$$

حيث تشير كل من h_l و n_l إلى استجابة القناة والضجيج بين UE و AP رقم l على التوالي. بالتالي يمكن حساب SNR كما يلي:

$$\text{SNR}_{\text{Small cells}} = \frac{P}{\sigma_{UL}^2} \max_{l \in \{1,L\}} PL(d_l) \quad (9)$$

حيث تشير d_l إلى المسافة بين جهاز المستخدم ونقطة الوصول رقم l .

بينما في حالة نظام Cell Free Massive MIMO فإن كامل نقاط الوصول تخدم جهاز المستخدم UE وبالتالي تعطى نسبة الإشارة إلى الضجيج (SNR) في هذه الحالة كما يلي:

$$\text{SNR}_{\text{cell-free}} = \frac{P}{\sigma_{UL}^2} \sum_{l=1}^L PL(d_l) \quad (10)$$

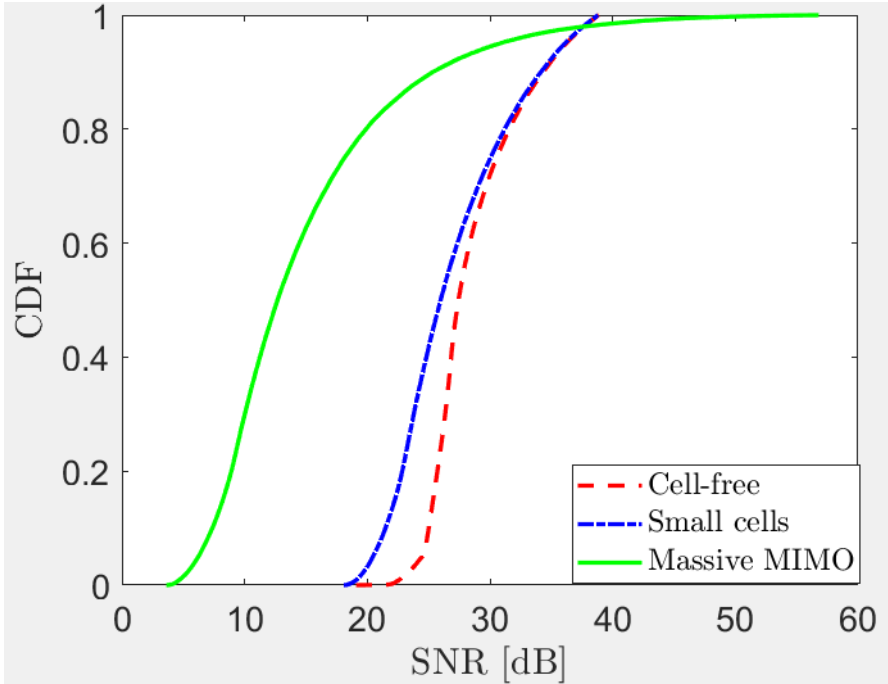
1.2.4 - إعدادات المحاكاة:

نفترض أن المنطقة المدروسة عبارة عن مربع طول ضلعه 400 [m]، وضمن هذه المنطقة يتواجد جهاز مستخدم واحد ويغير موقعه من أجل كل إعداد ليتم قياس نسبة الإشارة إلى الضجيج SNR، ونفترض أن نقاط الوصول تكون على ارتفاع يعلو جهاز

المستخدم ب [m] 10. نفرض أن استطاعة الإرسال لكل هوائي تبلغ 10 dBm بينما نفترض أن استطاعة الضجيج تبلغ $\sigma_{UL}^2 = -96$ dBm والتي تعد رقماً مقبولاً يتناسب مع عرض الحزمة المفروض وهو 10 MHz.

2.2.4- نتيجة المحاكاة:

يوضح الشكل (11) تابع التوزيع التراكمي (CDF) (Cumulative Distribution Function) لنسبة الإشارة إلى الضجيج (SNR) على الوصلة الصاعدة،

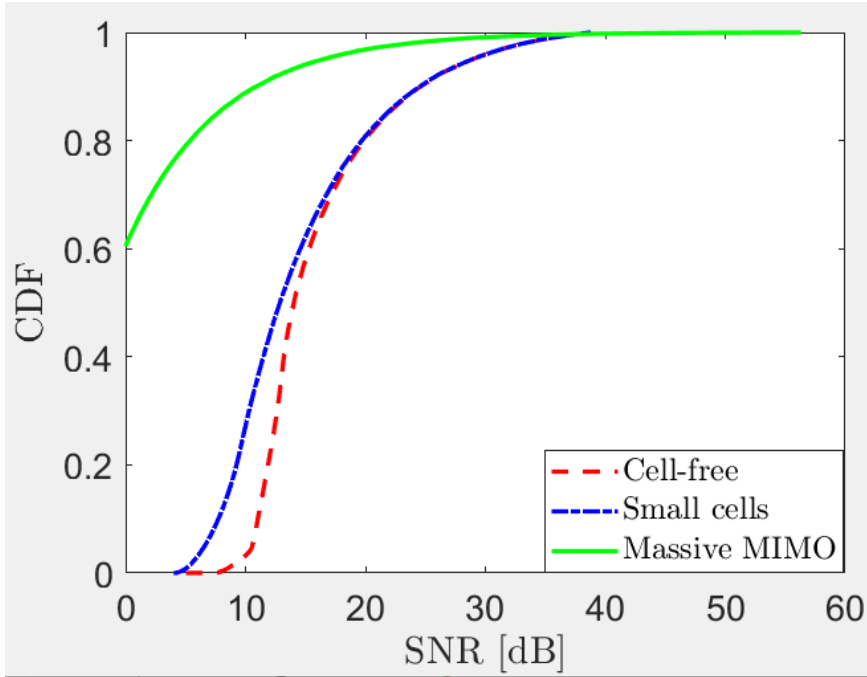


الشكل (11) - تابع التوزيع التراكمي ل SNR من أجل أنظمة الاتصال المختلفة

كما نلاحظ من الشكل فإن هناك تفاوت كبير في القيم التي يتم تحقيقها من قبل نظام Massive MIMO ويعود ذلك إلى أنه عندما يكون الجهاز قريب من مركز الخلية يتم تحقيق نسبة SNR عالية تصل حتى 57 [dB] بينما عندما يقع الجهاز على طرف

الخلية فإنه يعاني من انخفاض في نسبة SNR لتتخفص إلى حوالي 3 [dB]، ونلاحظ أنه من أجل معظم الحالات المدروسة تكون SNR منخفضة، وهذا ما يتغير في البنية ذات نقاط الوصول الموزعة كما في حالة الخلايا الصغيرة (Small cells) حيث يتم نشر نقاط وصول ذات عدد منخفض من الهوائيات وفي حالتنا هذه هوائي وحيد، ويتم تخديم جهاز المستخدم (UE) من خلال نقطة الوصول التي تحقق أفضل استجابة للقناة، مما يخفص التغيرات في SNR بين الحالات المدروسة المختلفة ويعطي أداءً موحداً ضمن الشبكة، وهذا هو الحال في نظام Cell Free Massive MIMO حيث يتم نشر نقاط الوصول بطريقة موزعة ضمن الشبكة المدروسة وبالتالي يحقق أداءً موحداً أفضل فيما يخص SNR ونلاحظ أنه يتفوق على Massive MIMO بصورة كبيرة من أجل معظم الحالات المدروسة وكذلك يقدم أداءً أفضل مقارنةً مع نظام الخلايا الصغيرة نظراً لكون جميع نقاط الوصول تتعاون لخدمة جهاز المستخدم نتيجة اعتماد نمط مركزية المستخدم (User centric) ونشر عدد كبير من نقاط الوصول مقارنةً مع عدد المستخدمين وهو ما يتفوق مع نتائج المحاكاة في [9] حيث تظهر تلك النتائج تفوقاً لنظام Cell Free Massive MIMO مقارنةً بأنظمة الخلايا الصغيرة (Small cells).

في حال تم زيادة مساحة المنطقة المدروسة إلى $1 \text{ [km}^2\text{]}$ بحيث يكون طول كل ضلع من أضلاع المربع الممثل لبيئة المحاكاة 1 [km] ، فإن نتيجة هذا الإجراء توضح في الشكل (12).



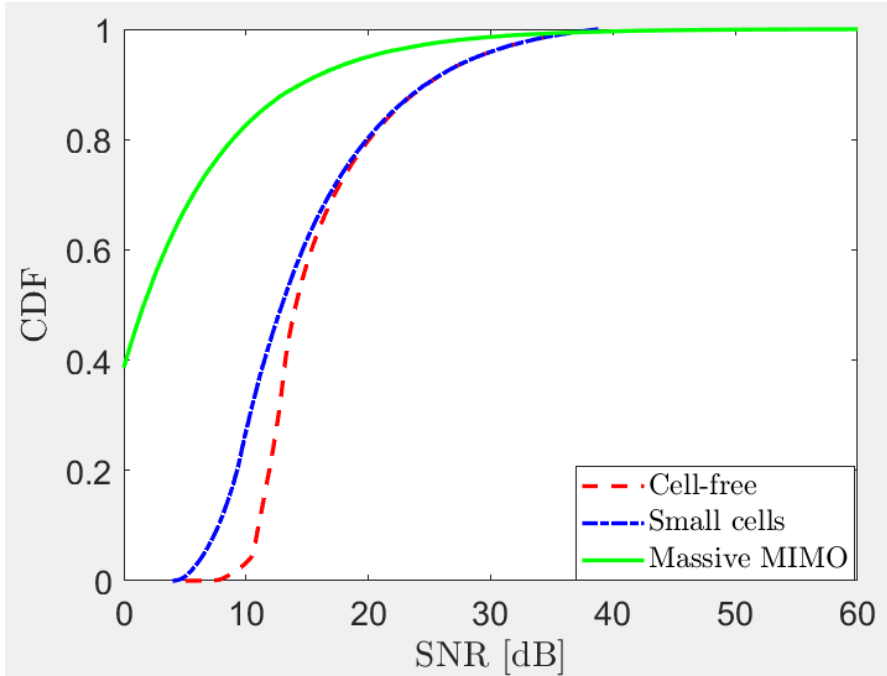
الشكل (12) - تابع التوزيع التراكمي ل SNR من اجل مساحة منطقة قدرها 1 km^2

في حالة نظام Cell Free ونظام Small Cell نلاحظ انخفاض نسبة الإشارة إلى الضجيج (SNR) إلى النصف تقريباً مقارنةً بالحالة السابقة لكنها تحافظ على أداء جيد وموحد للمستخدم في مختلف مناطق المحاكاة مع أفضلية لنظام Cell Free من أجل معظم الحالات التي تمت دراستها. بينما نلاحظ تدهوراً كبيراً في أداء نظام Massive MIMO فيما يخص المستخدمين على حافة الخلية، حيث نجد أن أكثر من 60% من حالات الدراسة تقدم $\text{SNR}=0[\text{dB}]$ بينما حالات وقوع جهاز المستخدم بالقرب من مركز الخلية يقدم SNR جيد جداً يصل حتى 57 dB لكن معظم أجهزة المستخدمين في الواقع العملي لا تكون قرب مركز الخلية، مما يقلل فرص استخدام Massive MIMO وفق البنية الخليوية الحالية في أنظمة الجيل السادس (6G).

دراسة وتحليل فعالية نظام الاتصال الضخم متعدد المداخل والمخارج الخالي من الخلايا (CF-MM)

نكرر الآن نفس المحاكاة السابقة لكن مع زيادة عدد هوائيات محطة القاعدة حتى 144 هوائي في حالة نظام Massive MIMO ونحافظ على العدد السابق لنقاط الوصول (64 نقطة وصول) الموزعة جغرافياً على المنطقة المدروسة في حالة نظام Small cells ونظام Cell Free بهدف دراسة أثر زيادة عدد هوائيات محطة القاعدة على تغيرات SNR.

نلاحظ من الشكل (13) أن زيادة عدد هوائيات محطة القاعدة من 64 حتى 144 في نظام Massive MIMO خفض الحالات التي يكون فيها $SNR=0[dB]$ من 60% إلى 40% بينما ارتفعت القيمة العظمى لحالة الدراسة قرب محطة القاعدة حتى $60[dB]$ بينما نلاحظ أن معظم حالات المستخدمين في أنظمة Small Cells و Cell Free ما زالت تحافظ على تفوقها وتقديم خدمة موحدة وأكثر استقراراً ضمن منطقة التغطية مع تفوق لصالح نظام Cell Free المقترح رغم استخدام عدد أقل من النصف من الهوائيات المستخدمة في حالة نظام Massive MIMO.



الشكل (13) - تابع التوزيع التراكمي ل SNR من اجل مساحة منطقة قدرها 1 km^2 ، مع استخدام عدد أكبر من الهوائيات $M=144$ ضمن محطة القاعدة في حالة Massive MIMO

3.4- مقارنة القدرة على إزالة التداخل بين نظام Cell Free Massive MIMO وأنظمة الهوائيات المتعددة الخليوية:

ننقل الآن إلى دراسة عامل آخر هام في تحديد جودة الأنظمة المستخدمة في الاتصالات اللاسلكية وهو قدرة هذا النظام على إزالة التداخل الحاصل على الوصلة الصاعدة، حيث ينتج هذا النوع من التداخل بسبب وجود عدة مستخدمين يرسلون باستخدام نفس المصادر الزمنية والترددية نحو محطة القاعدة الخاصة بخدمة كل منهم.

بما أنه قد أصبح لدينا عدة مستخدمين ضمن الشبكة، فإن الإشارة المستقبلية في نظام Massive MIMO تعطى بالعلاقة:

$$Y_{Massive MIMO} = \sum_{i=1}^{k=8} g_i s_i + n_i \quad (11)$$

حيث تعبر s_i عن إشارة المعلومات المرسله من المستخدم رقم i على الوصلة الصاعدة نحو مصفوفة هوائيات محطة القاعدة، بينما تشير g_i إلى استجابة القناة بين المستخدم i ومحطة القاعدة، بينما تعبر n_i عن الضجيج المرافق لإشارة المستخدم i .

وكما ذكرنا سابقاً، لتخمين إشارة المعلومات عند المستقبل يتم استخدام شعاع تجميع (combining vector) للإشارة المستقبلية من كل مستخدم، ويتم اختيار مخطط التجميع في هذه الحالة MMSE (Minimum Mean Square Error) لقدرته على إزالة آثار الضجيج والتداخل الناتج عن تعدد المستخدمين. عندها تصبح الإشارة المخمنة المستلمة من المستخدم k كالتالي:

$$\hat{S}_k = V_k^H \times Y_{Massive MIMO} = V_k^H g_i s_i + V_k^H n_i \quad (12)$$

وبالتالي فإن نسبة الإشارة إلى الضجيج والتداخل (SINR) تعطى بالعلاقة [2]:

$$\begin{aligned} SINR_{Massive MIMO} &= \frac{E\{|V_k^H g_k s_k|^2\}}{E\left\{\left|\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^K V_k^H g_i s_i + V_k^H n_i\right|^2\right\}} = \quad (13) \\ &= \frac{|V_k^H g_k|^2 p}{V_k^H \left(p \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^K g_i g_i^H + \sigma_{UL}^2 I_M \right) V_k} \\ &\leq p g_k^H \left(p \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^K g_i g_i^H + \sigma_{UL}^2 I_M \right)^{-1} g_k \end{aligned}$$

$$V_k = \left(p \sum_{i \neq k}^K g_i g_i^H + \sigma_{UL}^2 I_M \right)^{-1} g_k \quad \text{حيث أن: } g_k$$

أما في حالة الخلايا الصغيرة (Small Cells) فإن الإشارة المستقبلية من قبل نقطة الوصول رقم l تعطى بالعلاقة:

$$Y_{small\ cells} = \sum_{i=1}^{k=8} h_{il} s_i + n_{il} \quad (14)$$

حيث تعبر h_{il} عن استجابة القناة بين جهاز المستخدم رقم i ونقطة الوصول رقم l . ونعبر عن نسبة الإشارة إلى الضجيج SINR عند نقطة الوصول رقم l مع أخذ الإشارة الواردة من جهاز المستخدم رقم k بعين الاعتبار كما يلي:

$$SINR_{small\ cells} = \max_{l \in \{1, L\}} \frac{E\{|h_{kl} s_k|^2\}}{E\left\{\left|\sum_{i \neq k}^K h_{il} s_i + n_l\right|^2\right\}} = \max_{l \in \{1, L\}} \frac{|h_{kl}|^2 p}{p \sum_{i \neq k}^K |h_{il}|^2 + \sigma_{UL}^2} \quad (15)$$

حيث أنه وكما ذكر سابقاً فإن جهاز المستخدم يخدم من قبل نقطة الوصول التي تؤمن أعلى ربح للقناة.

أما في حالة شبكة Massive MIMO الخالية من الخلايا (Cell Free Massive MIMO) فإن كل مستخدم يتم تخديمه من قبل كافة نقاط الوصول وبالتالي فإن الإشارة المستقبلية من جهاز المستخدم رقم l على الوصلة الصاعدة تعطى بالعلاقة:

$$Y_{Cell\ Free} = \sum_{i=1}^{k=8} h_i s_i + n \quad (16)$$

وكما هو الحال في نظام Massive MIMO فإنه لكشف الإشارة المستقبلية من جهاز المستخدم رقم k يتم ضرب شعاع التجميع $V_k \in C^l$ مع الإشارة المستقبلية $Y_{Cell\ Free}$:

$$\hat{S}_k = V_k^H \times Y_{Cell Free} = V_k^H h_i s_i + V_k^H n \quad (17)$$

وبالتالي فإن نسبة الإشارة إلى الضجيج والتداخل SINR تعطى بالعلاقة:

$$SINR_{Cell Free} = \frac{E\{|V_k^H h_k s_k|^2\}}{E\left\{\left|\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^K V_k^H h_i s_i + V_k^H n\right|^2\right\}} = \quad (18)$$

$$\frac{|V_k^H h_k|^2 p}{V_k^H \left(p \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^K h_i h_i^H + \sigma_{UL}^2 I_M \right) V_k}$$

$$\leq p h_k^H \left(p \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^K h_i h_i^H + \sigma_{UL}^2 I_M \right)^{-1} h_k$$

$$V_k = \left(p \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^K h_i h_i^H + \sigma_{UL}^2 I_M \right)^{-1} h_k \quad \text{حيث أن:}$$

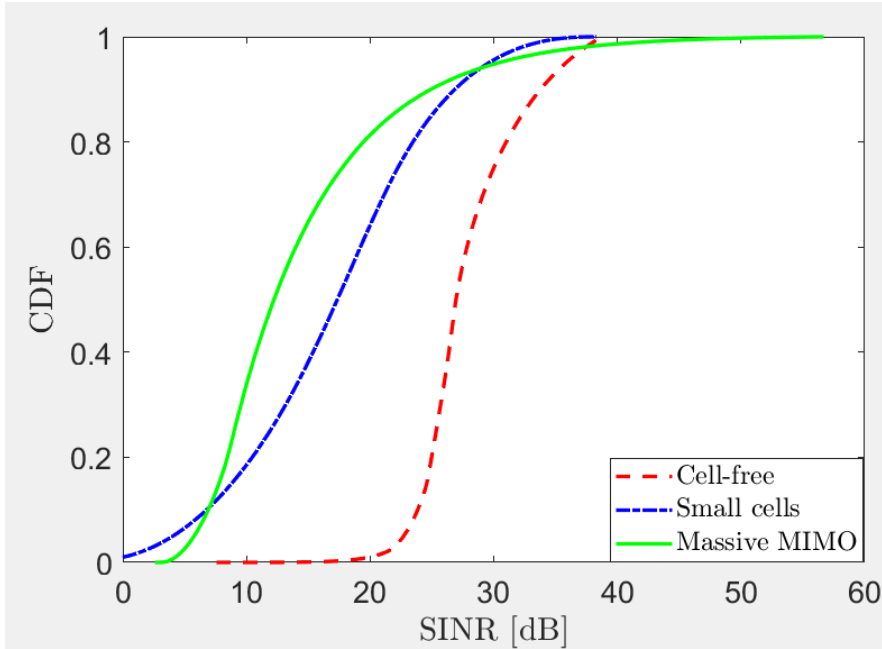
1.3.4 - إعداد المحاكاة:

سوف نفترض نفس البارامترات المستخدمة ضمن الفقرة السابقة في المحاكاة ونفس نموذج ربح القناة، مع زيادة عدد أجهزة المستخدمين ليصبح ثمانية مستخدمين ($K=8$) ضمن نطاق الشبكة المدروسة بدلاً من مستخدم وحيد لنتمكن من دراسة حالة التداخل التي يمكن أن تحصل وذلك من خلال رسم منحنيات لتابع التوزيع التراكمي لنسبة الإشارة إلى الضجيج والتداخل (SINR) على الوصلة الصاعدة للأنظمة الثلاث وفقاً لمعادلات SINR السابقة.

2.3.4 - نتيجة المحاكاة:

بملاحظة الشكل (14) وبالمقارنة مع الشكل (11) نجد أن هناك إزاحة إلى اليسار في منحنيات تابع التوزيع التراكمي نتيجة لإدخال عدة مستخدمين ضمن بيئة المحاكاة وتأثير

التداخل فيما بينهم على جودة الإشارة المستقبلية. ونجد أن نظام Massive MIMO الخليوي يقدم تفاوت كبير بالأداء يصل حتى 50 [dB] تبعاً للمواقع المختلفة لأجهزة المستخدم.



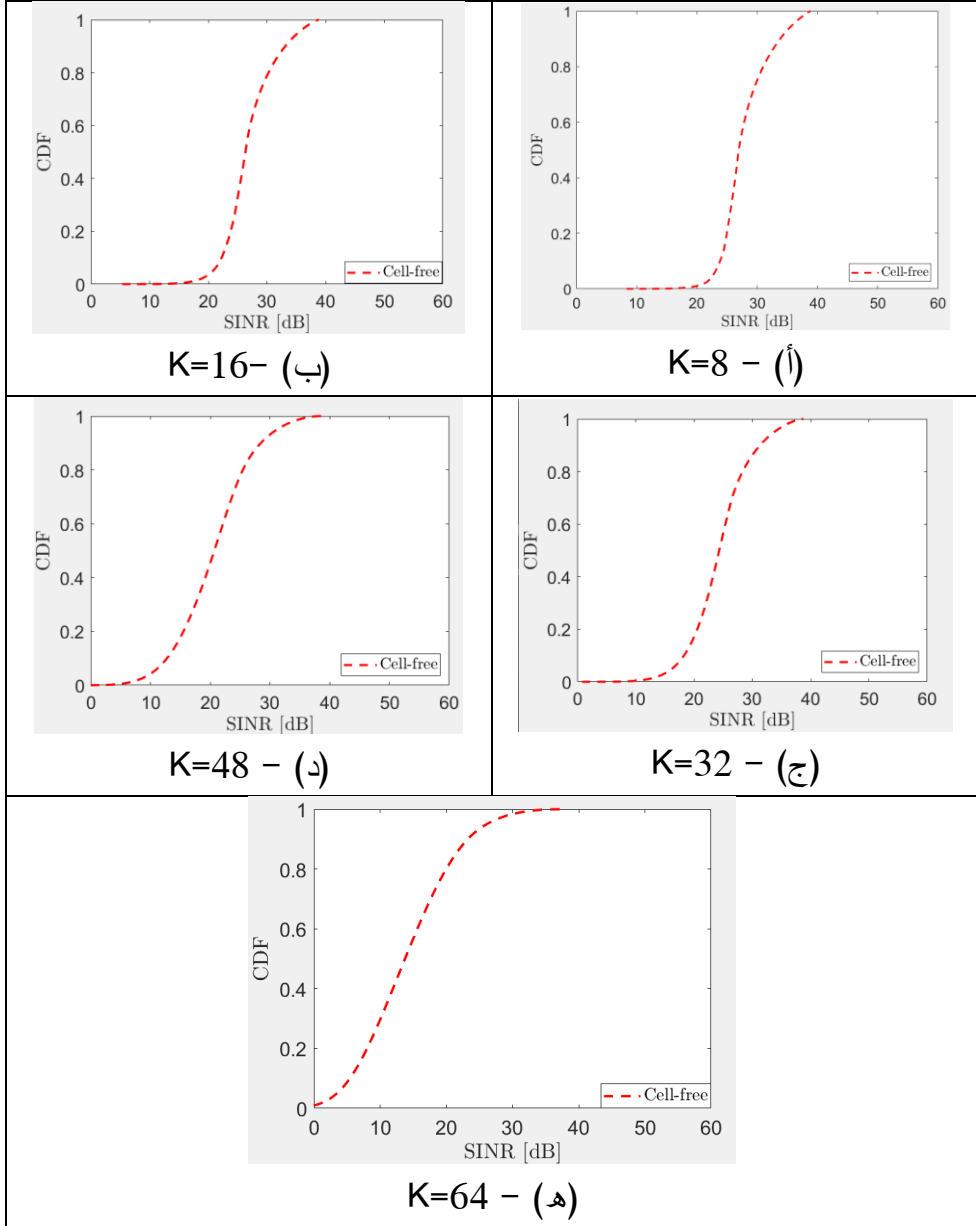
الشكل (14) - تابع التوزيع التراكمي ل SINR من أجل أنظمة الاتصال المختلفة - حالة ثمانية مستخدمين

ونلاحظ هنا أن نظام Cell Free Massive MIMO بخلاف ما كان الأمر عليه في حالة جهاز المستخدم الواحد، يتفوق بالأداء بشكل كبير على نظام Small Cells وذلك نتيجة المعالجة المشتركة للإشارة المستقبلية من كل جهاز مستخدم من قبل نقاط الوصول المحيطة بها وهذا الأمر غير موجود في نظام الخلايا الصغيرة كون كل نقطة وصول مزودة بهوائي واحد ويتم تخديم جهاز المستخدم من قبل نقطة الوصول التي تقدم أفضل

دراسة وتحليل فعالية نظام الاتصال الضخم متعدد المداخل والمخارج الخالي من الخلايا (CF-MM)

ربح للقناة فقط مما يقلل من قدرتها على إزالة التداخل. وهذا يعني أن نظام Cell Free Massive MIMO يكون مرغوب أكثر في حال تعدد المستخدمين وهو ما يوافق النتائج التي تم الحصول عليها في المرجع [3].

نقوم الآن بدراسة تابع التوزيع التراكمي ل SINR بالنسبة لنظام Cell Free المقترح لنتحقق من أهمية أن يكون عدد نقاط الوصول أعلى من عدد المستخدمين كما في الحالة السابقة حيث كان هناك 64 نقطة وصول تخدم 8 مستخدمين، ونقارن هذه الحالة مع أعداد مختلفة من المستخدمين حيث نفترض قيم 64, 48, 32, 16, 8 مع $K=8$ نفس العدد من نقاط الوصول المساوي ل 64 نقطة وصول، ويتم إيضاح النتيجة في الشكل (15).



الشكل (15) - تابع التوزيع التراكمي ل SINR من أجل نظام Cell Free من أجل

أعداد مختلفة للمستخدمين

نجد من الشكل (15-ب)) أن زيادة عدد المستخدمين حتى $K=16$ لم يؤثر على أداء النظام وهو ما يكافئ نسبة بين عدد المستخدمين إلى عدد نقاط الوصول (K/N_{AP}) قدرها 25%، وفي الشكل (15-ج)) مع افتراض ارتفاع عدد المستخدمين حتى $K=32$ ($K/N_{AP} = 0.5$) نلاحظ انخفاض طفيف في نسبة SINR مع بقاؤها ضمن قيم جيدة، أما في الشكل (15-د)) حيث أن النسبة $K/N_{AP} = 0.75$ ، نجد أن هناك انخفاض بمقدار 50% في نسبة SINR ناتج عن ازدياد عدد المستخدمين واقترابهم من عدد نقاط الوصول.

بينما في الشكل (15-ه)) نجد تراجعاً كبيراً وهاماً في أداء نظام Cell Free مع ازدياد عدد المستخدمين ووصولهم إلى عدد يتساوى مع عدد نقاط الوصول المخدمة لهم ($K/N_{AP} = 1$)، حيث أن معظم المستخدمين يظهرون نتائج سيئة وقرابية من الصفر حتى الأداء الموحد الذي كان يمتاز به هذا النظام تم فقده مما يعطي أهمية لضرورة الأخذ بالاعتبار بأن تكون أعداد نقاط الوصول أكبر من عدد المستخدمين بما لا يقل عن الضعف.

4.4- قدرة نظام Cell Free Massive MIMO على تركيز الإشارة نحو المستخدم

المطلوب على الوصلة الهابطة:

نركز في هذه الفقرة على الوصلة الهابطة والفائدة التي سوف نحصل عليها عند زيادة شدة الإشارة باتجاه المستخدم المرغوب، وذلك لأنه يوجد عدة نقاط وصول ترسل إشارتها في نفس اللحظة نحو هذا المستخدم. وبالتالي من خلال الاستفادة من كافة نقاط الوصول التي تخدم المستخدم سواء كان ربح قناتها مرتفعاً أو منخفضاً وتطبيق إزاحة طورية

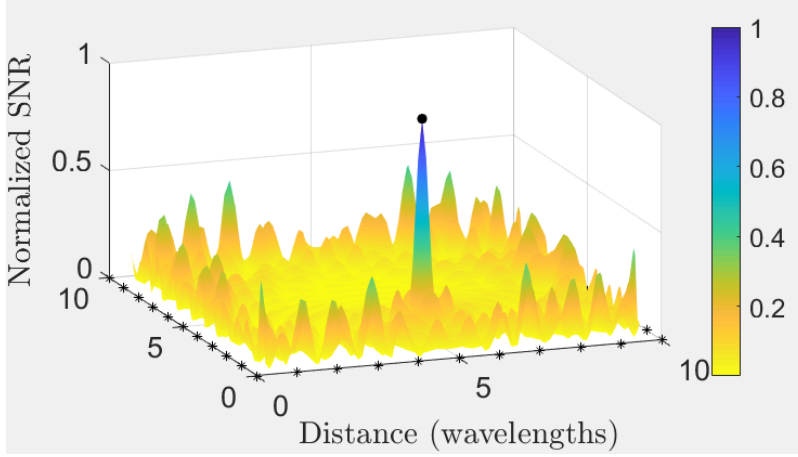
مناسبة لكل نقطة وصول يمكن نظرياً الحصول على إشارة جيدة ومركزة في أي نقطة مرغوبة ضمن منطقة المحاكاة، وهذا ما نسعى للتحقق منه في هذا الجزء من العمل.

نفترض أن بيئة المحاكاة تمثل بيئة انتشار داخلية على شكل مربع يتضمن 40 نقطة وصول موزعة على أضلاعه الأربعة بشكل منتظم وتقدر الأبعاد فيما بين نقاط الوصول نسبةً لطول الموجة، وبفرض أن طول الموجة يبلغ $\lambda_{cm} = 10[cm]$ (الطول الموجي المقابل لتردد قدره [3GHz]). ونفترض أننا نريد تركيز الاستطاعة في نقطة واحدة ضمن هذا المربع والتي تعبر عن المستخدم المرغوب نحدد موقعها من خلال خوارزميات تحديد جهة ورود الإشارة، وذلك بفرض أن نموذج الانتشار المستخدم هو نموذج الفضاء الحر (free-space propagation pathloss).

نقوم بإنشاء رسم ثلاثي الأبعاد لنسبة الإشارة إلى الضجيج SNR المعيارية إلى SNR العظمى، لتتراوح قيم SNR ضمن المنطقة المدروسة بين الصفر والواحد كما هو موضح في الشكل (16) الناتج عن عملية المحاكاة.

نلاحظ من الشكل (16) أن ضبط الإزاحة الطورية بين نقاط الوصول المختلفة يؤدي إلى تركيز الاستطاعة ضمن دائرة لا يتعدى قطرها نصف طول الموجة مما يعني تركيز الإشارة نحو جهاز المستخدم المرغوب وتجنب التداخل مع الأجهزة المجاورة الأخرى للمستخدمين دون أي استهلاك إضافي للطاقة من قبل نقاط الوصول. يعطي هذا ميزة إضافية ودافع أكبر نحو اعتماد نهج الشبكات الخالية من الخلايا ذات العدد الكبير من نقاط الوصول في أنظمة الاتصالات المستقبلية من الجيل السادس (6G) وتتوافق هذه النتائج مع الدراسة المرجعية [3].

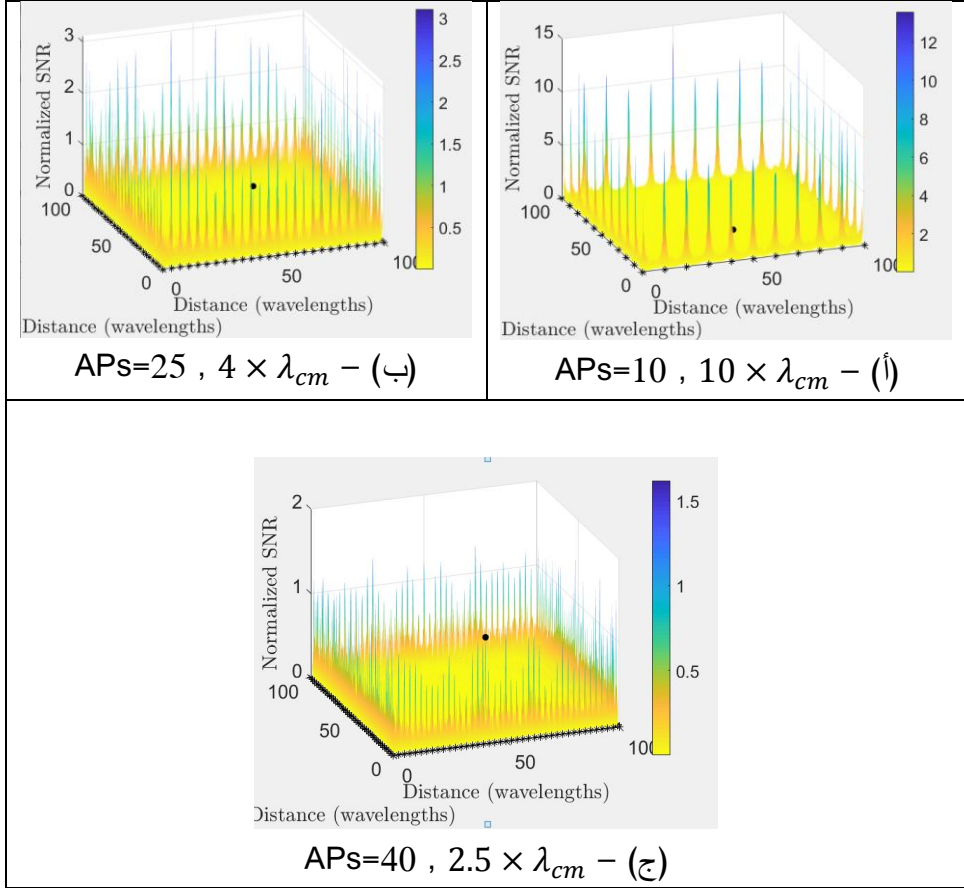
ومن أجل مساحة أكبر للمنطقة المدروسة بما يتناسب مع الواقع العملي، فإننا نحتاج إلى دراسة عدد نقاط الوصول والتباعد فيما بينها لنحصل على نتيجة جيدة تقارب النتيجة التي تم الحصول عليها في المثال السابق.



الشكل (16) - Normalized SNR في نقاط مختلفة ضمن منطقة المحاكاة

لنفرض أن لدينا بيئة انتشار داخلية على شكل مربع له الأبعاد $10 \times 10 [m]$ ونريد اختبار قدرة نظام Cell Free Massive MIMO على تركيز الإشارة نحو المستخدم المرغوب من خلال دراسة الوصول إلى الحالة الأمثل للتباعد بين نقاط الوصول وعددها لكل من أضلاع المربع من أجل منطقة المحاكاة المفترضة وذلك بحساب Normalized SNR، ويتم حساب ربح القناة هنا من خلال استخدام نموذج الانتشار في الفضاء الحر.

يتم اختبار ثلاث حالات للمقارنة فيما بينها، نفترض عدد نقاط الوصول في الحالة الأولى $N_1 = 10$ APs على كل ضلع، وبالتالي يكون التباعد بين نقاط الوصول $10 \times \lambda_{cm}$ ، بينما يكون عدد نقاط الوصول في الحالة الثانية $N_2 = 25$ APs، وبالتالي يكون التباعد بين نقاط الوصول $4 \times \lambda_{cm}$ ، وفي الحالة الثالثة يكون عدد نقاط الوصول $N_2 = 40$ APs، وبالتالي يكون التباعد بين نقاط الوصول $2.5 \times \lambda_{cm}$. وتوضح نتائج هذه المحاكاة في الشكل (17).



الشكل (17) - Normalized SNR من أجل أعداد مختلفة لنقاط الوصول لبيئة

محاكاة مربعة $10 \times 10 [m]$

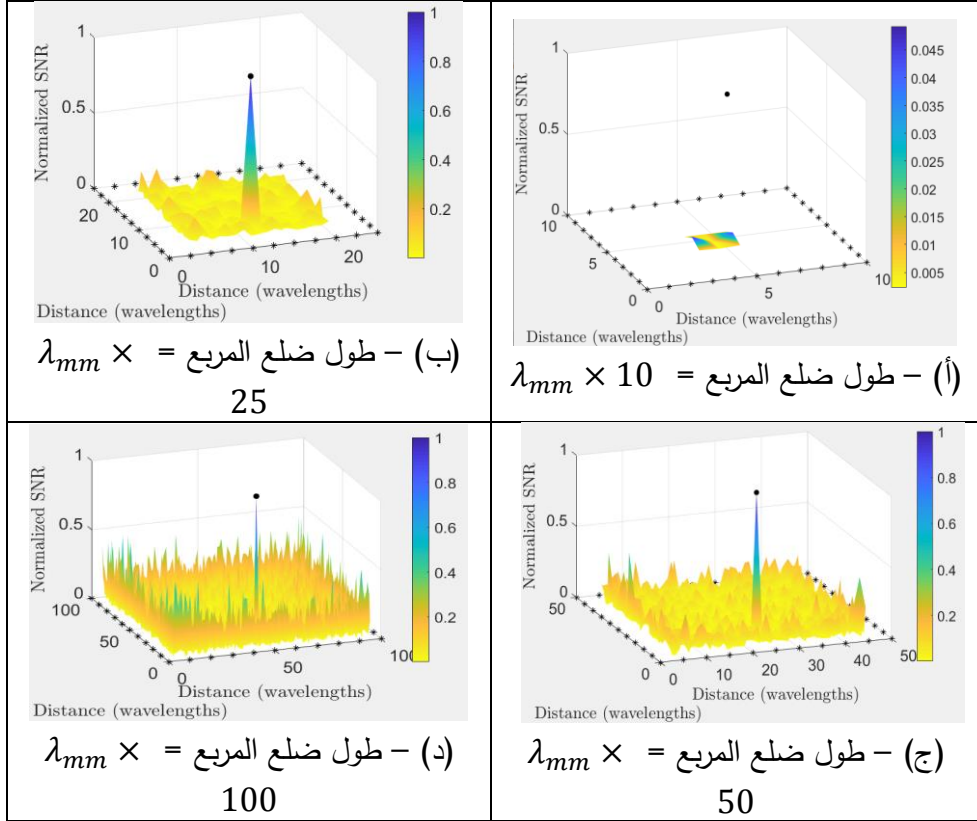
نجد من الشكل (17 (أ)) أن استخدام 10 نقاط وصول في كل من أضلاع المربع والبالغ طوله $10 [m]$ الممثل لبيئة المحاكاة، الموافق لتباعد بين نقاط الوصول قدره $10 \times \lambda_{cm}$ يؤدي إلى نتيجة غير مرضية حيث أن هذا التباعد الكبير بين نقاط الوصول يؤدي إلى Normalized SNR ضمن المنطقة المرغوبة لا تتجاوز 0.07 بينما في الشكل (17 (ب)) نجد أن استخدام 25 نقطة وصول وبالتالي تباعد بين نقاط الوصول قدره $4 \times \lambda_{cm}$ يؤدي إلى تحسن SNR عند المنطقة المرغوبة لتصل النسبة

إلى 0.7 لكنها تبقى دون الحد المطلوب، أما الشكل (17 ج)) فيوضح نتيجة استخدام 40 نقطة وصول، وبالتالي تباعد بين نقاط الوصول قدره $2.5 \times \lambda_{cm}$ والذي يعطي Normalized SNR مساويةً 1 عند المنطقة المرغوبة مع نسبة SNR منخفضة جداً في باقي مناطق المحاكاة باستثناء النقاط القريبة جداً من نقاط الوصول.

بالتالي، بناءً على النتائج السابقة يمكن اعتبار التباعد بين نقاط الوصول بمقدار $2.5 \times \lambda_{cm}$ هو الأفضل في تركيز الإشارة نحو المستخدم المرغوب وحماية باقي المستخدمين من التداخل.

حالة الأمواج الميليمترية:

نقوم الآن باختبار قدرة نظام Cell Free Massive MIMO على تركيز الإشارة نحو المستخدم المرغوب على الوصلة الهابطة في حالة استخدام الأمواج الميليمترية التي يتراوح نطاقها الترددي ضمن المجال [28-300] GHz والتي تعتبر تقنية أساسية من تقنيات الجيل الخامس كونها توفر عرض حزمة كبير وبالتالي توفر المزيد من سعة المستخدمين ومعدلات نقل البيانات المرغوبة، حيث نعتمد تردداً للإرسال قدره 28 GHz بدلاً من التردد 3 GHz في المحاكاة السابقة. وبالتالي يكون طول الموجة في حالتنا هذه $\lambda_{mm} = 10.714$ [mm]. نعتمد بنية المحاكاة لتكون على شكل مربع يتضمن عدداً من نقاط الوصول على أضلاعه وتكون موزعة بشكل منتظم، وسنختبر حالات مختلفة من مقدار لتباعد بين نقاط الوصول، حيث نفترض وجود 10 نقاط وصول (Aps) لكل من أضلاع المربع، وندرس حالات تباعد مختلفة بين الهوائيات بحيث نفترض طول ضلع المربع يساوي: 10 و 25 و 50 و 100 ضعف من طول الموجة ونقارن بينها لاختيار الحالة الأمثل.



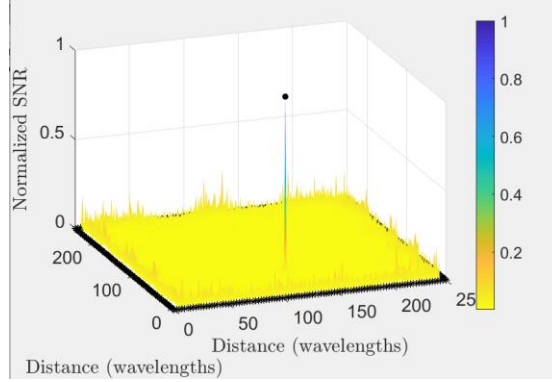
الشكل (18) - Normalized SNR من أجل أطوال أضلاع مختلفة لبيئة المحاكاة مع

$$APs = 10$$

نجد من الشكل (18 (أ)) أن وجود تباعد بين الهوائيات من رتبة طول الموجة (λ_{mm}) لا يقدم النتيجة المرغوبة حيث تكون Normalized SNR ضمن المنطقة المراد تركيز الإشارة فيها لا تتعدى 0.045 من القيمة العظمى المرغوبة على الرغم من انعدام الإشارة في باقي مناطق المحاكاة إلا أن النسبة التي تم تركيزها في المنطقة المرغوبة لا تعتبر جيدة. أما في حال وجود تباعد بين الهوائيات قدره $2.5 \times \lambda_{mm}$ فإنه يوفر نتائج جيدة جداً خصوصاً مع تخفيض الإشارة المرسله نحو النقاط الأخرى ضمن المحاكاة وتركيز إشارة جيدة مع SNR مثالية في المنطقة المرغوبة الشكل (18 (ب))، أما في حال زيادة

التباعد بين الهوائيات حتى $5 \times \lambda_{mm}$ و $10 \times \lambda_{mm}$ نجد أنه وكما هو موضح في الشكل (18 ج و د)) أن تركيز الإشارة في المنطقة المرغوبة تبقى جيدة لكن يكون هناك مستويات عالية ل Normalized SNR في باقي نقاط منطقة المحاكاة مما يعني تداخلاً كبيراً على الوصلة الهابطة باتجاه المستخدمين الآخرين وهذا بالتأكيد أمر غير مرغوب به. وبالتالي يمكن أن نستنتج من الشكل (18) أن حالة التباعد بين الهوائيات وقدرها $2.5 \times \lambda_{mm}$ تحقق أفضل أداء من حيث تركيز الإشارة عند المستخدم المرغوب وتقليل التداخل الموجه نحو المستخدمين الآخرين في حالة استخدام الأمواج الملي مترية.

ولمقاربة حالة أكثر واقعية لبيئة داخلية نعتبر طول المربع مساوي إلى 250 ضعف من طول الموجة λ_{mm} ومن أجل موافقة حالة التباعد $2.5 \times \lambda_{mm}$ نختار عدد نقاط الوصول لكل ضلع بحيث يساوي 100 نقطة وصول وتظهر النتائج في الشكل (19). ونلاحظ من الشكل (19) أنه يتم تركيز الإشارة المرغوبة في نقطة ضيقة جداً لا تتجاوز حجم الجهاز المستقبل المرغوب بينما لا تتعدى SNR 0.005 من القيمة العظمى في أغلب مناطق المحاكاة مما يعني التسبب بتداخل شبه معدوم للتجهيزات ضمن منطقة المحاكاة، مع وجود بعض النقاط على الأطراف تصل Normalized SNR فيها حتى 20% من القيمة العظمى ويعود هذا لقربها من نقاط الوصول الموزعة على أطراف منطقة المحاكاة.



الشكل (19) – Normalized SNR من أجل حالة تباعد بين نقاط الوصول $2.5 \times \lambda_{mm}$ و APs=100

5. الاستنتاجات والتوصيات:

- يتفوق النظام الخالي من الخلايا على الشبكات الخليوية التقليدية فيما يخص معدلات نقل البيانات التي يمكن تحقيقها عند المستخدمين، حيث يقدم خدمة جيدة وموحدة ضمن نطاق الشبكة اللاسلكية وقد تمت مقارنة حالة تخفيض عدد نقاط الوصول وتزويد كل منها بعدد أكبر من الهوائيات إلا أن حالة العدد الأكبر من نقاط الوصول والموزعة جغرافياً على كامل منطقة التغطية قدم أداءً أفضل.
- أظهر نظام Cell Free Massive MIMO تفوقاً على أنظمة Massive MIMO و Small Cells فيما يخص التقليل من الاختلافات في نسبة الإشارة إلى الضجيج SNR في الوصلة الصاعدة ضمن نطاق تغطية الشبكة اللاسلكية حتى عندما تم زيادة عدد هوائيات محطة القاعدة إلى أكثر من الضعف فإن نظام Cell Free قد حافظ على تفوقه من أجل معظم حالات تواجد المستخدمين.

- أظهر نظام Cell Free Massive MIMO قدرة عالية على إزالة التداخل من خلال التعاون بين نقاط الوصول المختلفة لخدمة كل من تجهيزات المستخدمين (UEs) وتمت دراسة ذلك من خلال مقارنة منحنيات تابع التوزيع التراكمي (CDF) ل SINR وكذلك تمت دراسة حالة زيادة عدد المستخدمين إلى عدد يقارب نقاط الوصول بالنسبة لنظام Cell Free وقد أدى ذلك إلى تدهور كبير بالأداء مما يؤكد ضرورة اعتماد هذا النظام على عدد كبير من نقاط الوصول يزيد على عدد المستخدمين بما يتجاوز الضعف.
- أظهر نظام Cell Free Massive MIMO قدرة عالية على تركيز الإشارة عند المستخدم المرغوب على الوصلة الهابطة سواء في حالة استخدام ترددات بحدود [GHZ] 3 أو في حالة استخدام الأمواج الميلي مترية بتردد [GHZ] 28. وقد أظهرت النتائج في كلتا الحالتين أن وجود تباعد قدره 2.5 من طول الموجة بين نقاط الوصول تقدم أداءً أفضل.
- نقترح متابعة دراسة هذا النظام الذي يعد واعدًا بالنسبة لأنظمة الاتصالات اللاسلكية المستقبلية المعتمدة على الهوائيات المتعددة من خلال التركيز على دراسة خوارزميات معالجة الإشارة التي تشمل تخمين القناة، التجميع، والتشفير المسبق لتتناسب وتحقيق أكبر فائدة منه.

6. المراجع:

- 1- Interdonato, G., Björnson, E., Quoc Ngo, H. et al. R2019, **Ubiquitous cell-free Massive MIMO communications.** J Wireless Com Network 2019, 197 <https://doi.org/10.1186/s13638-019-1507-0>
- 2- J. Zhang, E. Björnson, M. Matthaiou, D. W. K. Ng, H. Yang and D. J. Love. R2020, **Prospective Multiple Antenna Technologies for Beyond 5G.** IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 38, no. 8, pp. 1637-1660.
- 3- Ö. Demir, E. Björnson and L. Sanguinetti. R2021, **Foundations of User-Centric Cell-Free Massive MIMO.** Foundations and Trends in Signal Processing: Vol. 14, No. 3-4, pp 162-47.
- 4- S. Chen, J. Zhang, Jing Zhang, E. Bjornson, and Bo Ai, R2021. **A Survey on User-Centric Cell-Free Massive MIMO Systems.** Cornell University. PP 1-67.
- 5- H. PAPADOPOULOS, C. WANG, O. BURSALIOGLU, X. HOU, and Y. KISHIYAMA. R2016. **Massive MIMO Technologies and Challenges towards 5G.** IEICE TRANS. COMMUN., VOL.E99-B, NO.3.

6- A. Kostopoulos, I. P. Chochliouros, I. Giannoulakis, A. Kourtis and E. Kafetzakis. R2018. **Small Cells-As-A-Service in 5G Networks**, IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB), pp. 1-5.

7- A. Alwarafy, A. Sulyman, A. Alsanie, Saleh A. Alshebeili, Hatim M. Behairy. R2017. **Path-Loss Channel Models for Receiver Spatial Diversity Systems at 2.4 GHz**, International Journal of Antennas and Propagation, vol. 2017, Article ID 6790504, 12 pages.

8- N. Rajatheva, I. Atzeni, E. Bjornson, A. Bourdoux, S. Buzzi, J. Dore, S. Erkucuk, M. Fuentes, Ke Guan, Y. Hu, X. Huang, J. Hultkonen, J. Miquel Jornet, M. Katz, R. Nilsson, E. Panayirci, K. Rabie, N. Rajapaksha, M. Javad Salehi, H. Sardeddeen, Tommy Svensson, Oskari Tervo, Antti Tolli, Qingqing Wu, Wen Xu. R2020. **White Paper on Broadband Connectivity in 6G**.

9- H. Q. Ngo, A. Ashikhmin, H. Yang, E. G. Larsson and T. L. Marzetta, R2020. **Cell-Free Massive MIMO Versus Small Cells**. [Mar 17 1834-1850], in IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 19, no. 5, pp. 3623-3624, May 2020, doi: 10.1109/TWC.2020.2974209.

تحسين عملية اكتشاف هجمات رفض الخدمة البطيئة باستخدام المصفوفات الانقباضية

الباحث: م. عمار أسد العساف

جامعة: دمشق

كلية: الهمك

المخلص

توفر الشعبية المتزايدة للإنترنت العديد من الخدمات التي تدعم الشبكة والتي يمكن للمستخدم الوصول إليها. ومع ذلك يحاول المهاجمون حرمان المستخدم من هذه الخدمات الحيوية من خلال هجمات DoS (رفض الخدمة). يعد التعامل مع هجوم DoS الذي يستهدف طبقة التطبيق بمعدل بطيء لحركة المرور أحد التحديات الرئيسية التي يواجهها مقدمو الخدمة الآن.

في هذا البحث تم اقتراح نموذج تصنيف عميق باستخدام بيانات التدفق والمصفوفات الانقباضية لاكتشاف هجوم DoS بطيء على HTTP. تم تقييم المصنف باستخدام مجموعة بيانات CICIDS2017. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن المصنف يمكن الحصول على دقة 99.9952%.

الكلمات المفتاحية: رفض الخدمة البطيء ، تدفق البيانات ، المصفوفات الانقباضية ، التعلم العميق.

Improve Detection Of Slow Dos Attacks Using Systolic Arrays

Abstract

The growing popularity of the Internet offers many network-enabled services that the user can access. However, the attackers try to deprive the user of these vital services through DoS (Denial of Service) attacks. Dealing with a DoS attack targeting the application layer with a slow rate of traffic is one of the main challenges that service providers face now.

In this paper, a deep classification model using flow data and systolic matrices is proposed to detect a slow DoS attack on HTTP. The classifier was evaluated using the CICIDS2017 dataset. The obtained results showed that the classifier could obtain an accuracy of 99.9952%.

Keywords: slow denial of service, data flow, systolic matrices, deep learning.

1. المقدمة

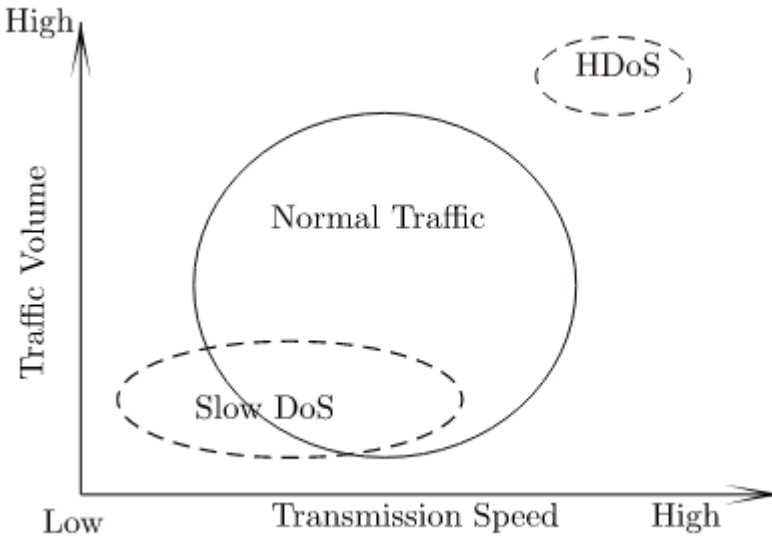
تطور الإنترنت في السنوات القليلة الماضية كمنصة قوية للتواصل. ومن ثم فإن العديد من الخدمات مثل التجارة الإلكترونية والحوسبة السحابية والتمويل وخدمات المواطنين يتم تمكينها عبر الإنترنت. يمكن الوصول إلى هذه الخدمات من قبل المستخدم دون أي حدود جغرافية. نظرًا لأنه يتم الوصول إلى هذه الخدمات الهامة من الخادم عبر الشبكة، يجب ضمان توفر هذه الخدمات لمستخدم حقيقي. لكن المهاجمون يعطلون أو يرفضون الخدمات لمستخدم حقيقي باستخدام هجمات رفض الخدمة (Denial of Service) DoS، هجوم DoS هو هجوم على الإتاحة حيث يرسل المهاجم طلبات غير مرغوب فيها إلى الخادم لإفساد المورد. الإصدار المعقد من DoS يُعرف باسم هجوم الحرمان الموزع للخدمة DDoS (Distributed Denial of Service) يرسل طلبات من عدة مهاجمين إلى نفس الخادم لرفض الخدمات للمستخدمين الحقيقيين^[1].

هجوم DoS / DDoS يهدف لاستهلاك عرض النطاق الترددي للشبكة بين الخدمة المستهدفة والعملاء، يقوم المهاجمون لتحقيق هذا الهجوم بحقن قدر كبير من حركة المرور باستخدام مضيفين مخترقين أو شبكات بوت على الجهاز المستهدف. في الوقت الحاضر تستهدف هجمات DoS / DDoS بيئات مختلفة مثل البنية التحتية السحابية وشبكات المحمول واللاسلكية.^[2]

2. مشكلة البحث

فئة من هجمات DoS والمعروفة باسم DoS البطيء، تستهدف موارد التطبيق والخادم عن طريق ضخ حركة مرور قانونية منخفضة الحجم بمعدل بطيء للغاية. نظرًا لأن حجم حركة المرور في DoS البطيء منخفض جدًا، يمكن تنفيذ هذا الهجوم باستخدام عدد أقل من الأجهزة. ونظرًا لأن حركة مرور DoS البطيئة تبدو قانونية، فقد تفشل الأساليب التقليدية في اكتشاف هذه الهجمات.^[3]

يوضح الشكل (1) الفرق بين حركة المرور العادية وهجمات DoS / DDoS الضخمة وهجمات DoS البطيئة. كما هو مبين في الشكل، من خلال النظر في حجم حركة المرور وسرعة الإرسال، تتداخل حركة المرور العادية ومناطق حركة مرور DoS البطيئة. هذا يجعل من الصعب التمييز بين هجمات DoS البطيئة وحركة المرور العادية وكذلك منعها.^[4]



الشكل (1) رسم توضيحي لحركة المرور العادية و DoS البطيئة و DoS الضخمة.

التحديات الرئيسية في تصنيف DoS البطيء من حركة المرور العادية هي:

- يستخدم اتصالاً شرعياً أثناء الهجوم.
- مطلوب عدد أقل من الاتصالات لشن الهجوم.
- استخدام النطاق الترددي وحجم حركة المرور لهجوم DoS البطيء منخفضان. ومن ثم فإن الأنظمة التقليدية غير قادرة على اكتشافها.

تم اقتراح طرق مختلفة لاكتشاف هجمات DoS البطيئة. في الآونة الأخيرة تم استخدام الشبكات المعرفة بالبرمجيات (SDN) والنهج القائم على التعلم الآلي لاكتشاف هجمات DoS البطيئة.^[5] في هذا البحث تم اقتراح مصنف DoS البطيء المستند إلى التعلم العميق والمصفوفات الانقباضية.

النهج المقترح له المزايا التالية مقارنة باكتشاف هجوم DoS البطيء المستند إلى المضيف:

- يمكن جمع بيانات التدفق وتحليلها من بوابة الشبكة، لذلك يمكن تنفيذ نظام وقائي لخطورة DoS البطيئة قبل وصول حركة مرور الهجوم إلى الجهاز المصاب.
- يمكن استخدام مصنف DoS البطيء في أي خادم ويب دون أي تغييرات في التكوين على مستوى الخادم.

3. الدراسات المرجعية

تمت مناقشة اكتشاف الاختراق في شبكات الحاسوب على نطاق واسع في الأبحاث المختلفة. تم اقتراح العديد من تقنيات الكشف واستراتيجيات الحماية في السنوات الأخيرة. تصنف الدراسات في الأدبيات أنظمة IDS على أنها أنظمة

مبنية على التوقع، وقائمة على السلوك غير الطبيعي، وأنظمة هجينة. يحدد النوع الأول الهجمات المحتملة من خلال مقارنة الأحداث الحالية التي تمت ملاحظتها بالتوقعات المخزنة. يكتشف الثاني السلوك غير الطبيعي من خلال تحديد الانحرافات الكبيرة بين الملف الشخصي العادي المحدد مسبقاً والأحداث الجارية. الميزة الرئيسية للنهج القائم على التوقع هو معدل الإنذار الخاطئ المنخفض. ومع ذلك فإن التحدي يكمن في كتابة التوقعات التي تغطي جميع أشكال الهجوم المحتملة. على النقيض من ذلك فإن النهج القائم على السلوك غير الطبيعي لديه القدرة على اكتشاف الهجمات غير المعروفة، لكنه يتطلب المزيد من الموارد الحسابية وغالباً ما ينتج المزيد من الإنذارات الكاذبة. تحاول الحلول الهجينة استغلال فوائد كلتا الطريقتين^[6]. تعد هجمات DoS نوعاً محدداً من اقتحام الشبكة الذي لفت انتباه الأوساط الأكاديمية. تم اقتراح العديد من استراتيجيات التصنيف لهجمات DDos في الأدبيات في العقد الماضي. تستهلك هجمات DoS على مستوى التطبيق عموماً نطاقاً ترددياً أقل وتكون بطبيعتها أكثر سرية من الهجمات الضخمة لأنها تشبه إلى حد بعيد حركة المرور غير الضارة. يكمن التحدي الأكبر في مكافحة هجمات DoS في الاكتشاف المبكر للهجمات والتخفيف من حدتها في أقرب مكان ممكن من مصدرها، ومع ذلك فإن تنفيذ حل شامل يعالج هذه الميزات لم يتحقق بعد. ألهمت بعض الأعمال الحديثة تطوير نظام الاكتشاف المقترح.

الجدول (1) مقارنة الدراسات المرجعية

References	Dataset	Online	L/H DoS	Sampling
[7]	CIC-DoS	X	✓	✓
[8]	CICIDS2017	X	✓	X
[9]	CICIDS2017	X	✓	X
[10]	CICIDS2017	X	✓	X
[11]	None	✓	X	X
[12]	MIT Lincoln, FIFA98, DDoSTB, CAIDA	✓	✓	X
[13]	Customized (developed by the authors)	✓	✓	X
[14]	Customized (developed by the authors)	✓	✓	X
[15]	CICIDS2017	X	✓	X

4. هجوم DoS البطيء

يستهدف DoS البطيء طبقة التطبيق عن طريق إرسال حركة مرور قانونية بمعدل منخفض جداً. الخاصية الشائعة لهجمات DoS البطيئة هي أن الخوادم يبدو أنها تحتوي على عدد كبير من العملاء المتصلين ولكن حمل المعالجة الفعلي سيكون منخفضاً للغاية. نظراً لأن HTTP هو بروتوكول طبقة تطبيق بارز يستخدم في الإنترنت لذلك أصبح أحد الأهداف الشائعة لهجوم DoS البطيء. وتظهر الدراسات الحديثة أن HTTP\2، هو أيضاً عرضة للعديد من هجمات DoS البطيئة. ومن ثم فإن اكتشاف ومنع هجوم DoS البطيء له أهمية قصوى في الإنترنت في يومنا هذا.^[16]

4.1 Slowloris

تبدأ خوادم الويب المعرضة لهجوم بطيء في معالجة الطلب فقط بعد تلقي الطلب بالكامل من العميل. من خلال معرفة ذلك يرسل المهاجم طلبات HTTP جزئية لفتح اتصالات بخادم الويب المعرض للخطر. بمجرد فتح الاتصال يحاول المهاجم الحفاظ على هذه الاتصالات حية لأطول فترة ممكنة عن طريق إرسال الجزء التالي من الطلب قبل انتهاء مهلة الاتصال مباشرة، مما يؤدي إلى إرباك خادم الضحية وإبطائه.^[7]

4.2 Slow POST

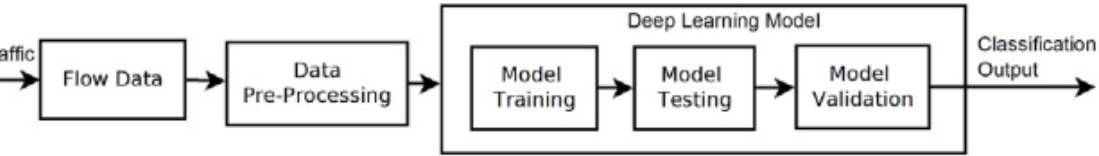
في هجوم Slow POST يستخدم المهاجم طريقة HTTP POST قانونية من خلال تعيين رقم كبير جدًا لقيمة "طول المحتوى content-length" في الطلب. عند تلقي هذا الطلب يخصص الخادم الموارد اللازمة لمعالجة بيانات طول المحتوى المحددة. في وقت لاحق يرسل العميل البيانات بمعدل بطيء للغاية مما ينتج عنه اتصال مفتوح مطول في الخادم.^[17]

4.3 Slow read

يرسل العميل طلبات HTTP قانونية إلى الخادم ويقرأ الاستجابة بمعدل بطيء جدًا. يمنع المهاجم الخادم من إعادة تعيين الاتصال عن طريق تعيين حجم الإطار الصفري في الحزمة. عند استلام الحزمة بحجم نافذة صفري، يعتقد الخادم أن العميل يقرأ البيانات بالفعل وبالتالي يبقى الاتصال مفتوحًا.^[18]

5. نموذج مصنف DoS البطيء باستخدام التعلم العميق

يوضح الشكل (2) سير العمل لنموذج تصنيف DoS البطيء^[8]. يأخذ النموذج حركة مرور الشبكة كمدخل ويقدم النتائج المصنفة بناءً على عملية التعلم العميق. يتم تجميع البيانات ومعالجتها بشكل مسبق ومن ثم إدخالها في نموذج التعلم العميق. تتمثل إحدى مزايا التعلم العميق على التعلم الآلي في أنه يمكنه تعلم الميزات المهمة تلقائياً بدون مدخلات يدوية. ونظراً لأن عدد الميزات وحجم البيانات أكبر فقد تم استخدام نموذج شبكة عصبية عميقة للتصنيف.



الشكل 2: سير عمل نموذج تصنيف DoS البطيء المعتمد على التعلم العميق.

5.1. بيانات تدفق الشبكة

يمكن تعريف تدفق الشبكة Network flow على أنه تسلسل أحادي الاتجاه لحزم بروتوكول معين تنتقل بين عنوان IP المصدر والوجهة والمنافذ خلال فترة زمنية. يتم إنشاء التدفقات من الحزم عن طريق تجميعها باستخدام الحقول الرئيسية key fields. الحقول المستخدمة لاشتقاق بيانات التدفق من حزم الشبكة موضحة أدناه.

[8]

$$Key = \{SrcIP, DstIP, SrcPort, DstPort, Proto\} \quad (1)$$

بالإضافة إلى هذه الحقول، تتكون بيانات التدفق من معلومات مشتقة من الاتصال مثل المدة والبايت والحزم المنقولة وقيم علم TCP (TCP flag).^[19]

هناك عدة أسباب لاختيار بيانات مستوى التدفق كمدخل لتصنيفنا:

- حجم البيانات أقل مقارنة بمعلومات مستوى الحزمة.
- حجم البيانات أقل وبالتالي يمكن جمع البيانات طويلة الأجل (long term data) وتحليلها. سيساعد هذا في اكتشاف الهجمات البطيئة التي تستمر لفترة أطول.

5.1.1 مجموعة البيانات المستخدمة

تُستخدم مجموعة بيانات تقييم كشف الاختراق المتوفرة في المعهد الكندي للأمن السيبراني (CICIDS2017) في نموذج التدريب والتحقق.^[13] يحتوي على بيانات متعددة الاتجاهات بما في ذلك DoS وهجمات الويب والاختراق و botnet و DDoS. لقد اخترنا مجموعة بيانات DoS لنموذج التصنيف الخاص بنا.

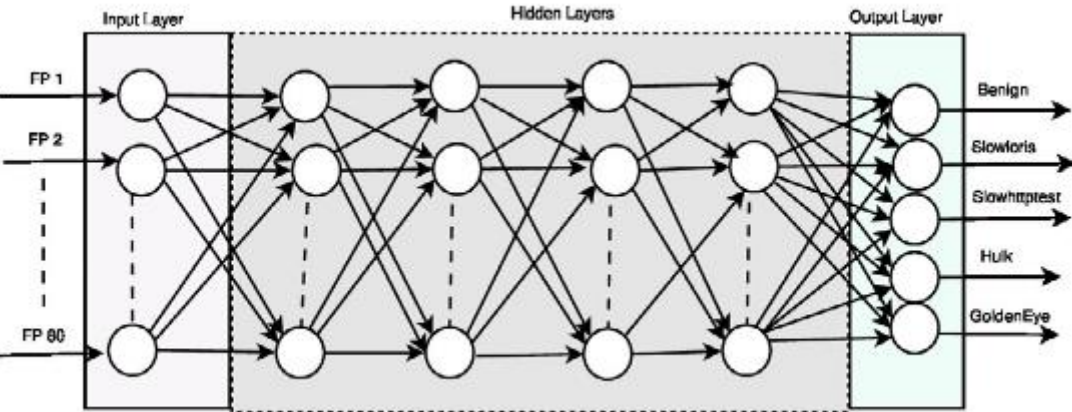
5.1.2 المعالجة المسبقة للبيانات

تتكون مجموعة بيانات CICIDS2017 من تدفقات ثنائية الاتجاه مصنفة بتنسيق مفصولة بفواصل (.CSV)، مجموعة البيانات النهائية المختارة للتصنيف تتكون من 80 معلمة. حركة المرور الحميدة يتم تصنيفها على أنها "Benign"، ويتم تصنيف سجلات التدفق الخاصة بالمهاجمين على أنها "Slowloris" و "Slowhttpstest" و "Hulk" و "GoldenEye". يتم تحويل هذه التسميات إلى قيم صحيحة تبدأ من واحد وتنتهي بخمسة والتي تمثل تدفقات "Benign" و "Slowloris" و "SlowHTTP" و "Hulk" و "GoldenEye" على التوالي.

5.2. المصنف القائم على التعلم العميق

كما هو مبين في الشكل 3، يتكون نموذج التعلم العميق من 3 طبقات مختلفة ("طبقة الإدخال" و "الطبقات المخفية" و "طبقة الإخراج"). طبقة الإدخال تعطي معلومات للشبكة. تعالج الطبقة المخفية العلاقات غير القابلة للفصل خطياً وتمرر المعلومات من طبقة الإدخال إلى طبقة الإخراج. تقوم طبقة الإخراج بتصنيف حركة المرور إلى الحميد أو DoS البطيء.

يتم استخدام شبكة متصلة بالكامل في نموذج التصنيف، تأخذ طبقة الإدخال معلمات مستوى التدفق كمدخلات. نظرًا لأننا حددنا 80 ميزة في بيانات التدفق، فإن عدد الخلايا العصبية في طبقة الإدخال ثابت على أنه 80. يتم تمثيل ميزات مستوى التدفق المستخدمة في طبقة الإدخال من "FP1" إلى "FP80". تحتوي طبقة الإخراج على نفس عدد الخلايا العصبية في عدد الفئات في مجموعة البيانات. ومن ثم فإن الخلايا العصبية في طبقة الخرج ثابتة على أنها خمسة.



الشكل (3) نموذج التعلم العميق المستخدم لتصنيف DoS البطيء

5.2.1. تدريب النموذج

لتصنيف سجلات تدفق DoS البطيئة وسجلات التدفق الحميد، تم تدريب النظام باستخدام بيانات التدريب. وتم تطبيق تقنية تعلم خاضعة للإشراف. يتم تليخيص البيانات المستخدمة للتدريب والاختبار والتحقق من المصنف في الجدول 2. وتم استخدام الوحدة الخطية المصححة (ReLU) كوظيفة التنشيط في الطبقة المخفية. يستخدم نموذجنا لتصنيف أربعة DoS بطيئة مختلفة من حركة المرور الحميدة. وتم استخدام وظيفة التنشيط "softmax" في طبقة الإخراج. تم استخدام خوارزمية التحسين "adam" لتحسين دالة التكلفة. تُستخدم تقنية التحسين هذه في نموذجنا لدعم البيانات الكبيرة بعدد أكبر من المعلمات. تم تنفيذ النموذج باستخدام "API" [20] Keras و "SciKit" [21]. لقد قمنا بتكوين خيار "الإيقاف المبكر" في العصر بخمسة هي قيمة الصبر.

Total records	Training	Testing	Validation
32,190	19,314	6,438	6438

الجدول 2: ملخص البيانات المستخدمة في التدريب والاختبار والتحقق.

6. المصفوفة الانقباضية

المصفوفة الانقباضية عبارة عن شبكة متخصصة من الخلايا التي تؤدي العمليات الحسابية المعقدة للبيانات بسرعة، ويتميز النمط الانقباضي بتطبيق مكثف لكل من الأنبوية والتوازي، ويتم التحكم فيهما بواسطة ساعة عالمية ومتزامنة تمامًا. تتدفق

تدفقات البيانات بشكل إيقاعي عبر شبكة الاتصالات، مثل تيارات الدم تنطلق من القلب عبر الأوردة في الجسم. هنا لا يتم تقييد خطوط الأنابيب على محور فضاء واحد ولكن يتعلق بجميع تدفقات البيانات التي ربما تتحرك في اتجاهات مختلفة وتتقاطع في خلايا المصفوفة الانقباضية.^[9] يتكون النظام الانقباضي عادة من جهاز كمبيوتر مضيف، ومصفوفة انقباضيه فعليه.^[22] وتعرف الخوارزمية الانقباضية بانها البرنامج الذي يتم تنفيذه بشكل تعاوني بواسطة خلايا المصفوفة الانقباضية.^[9]

6.1. المصنف القائم على المصفوفات الانقباضية

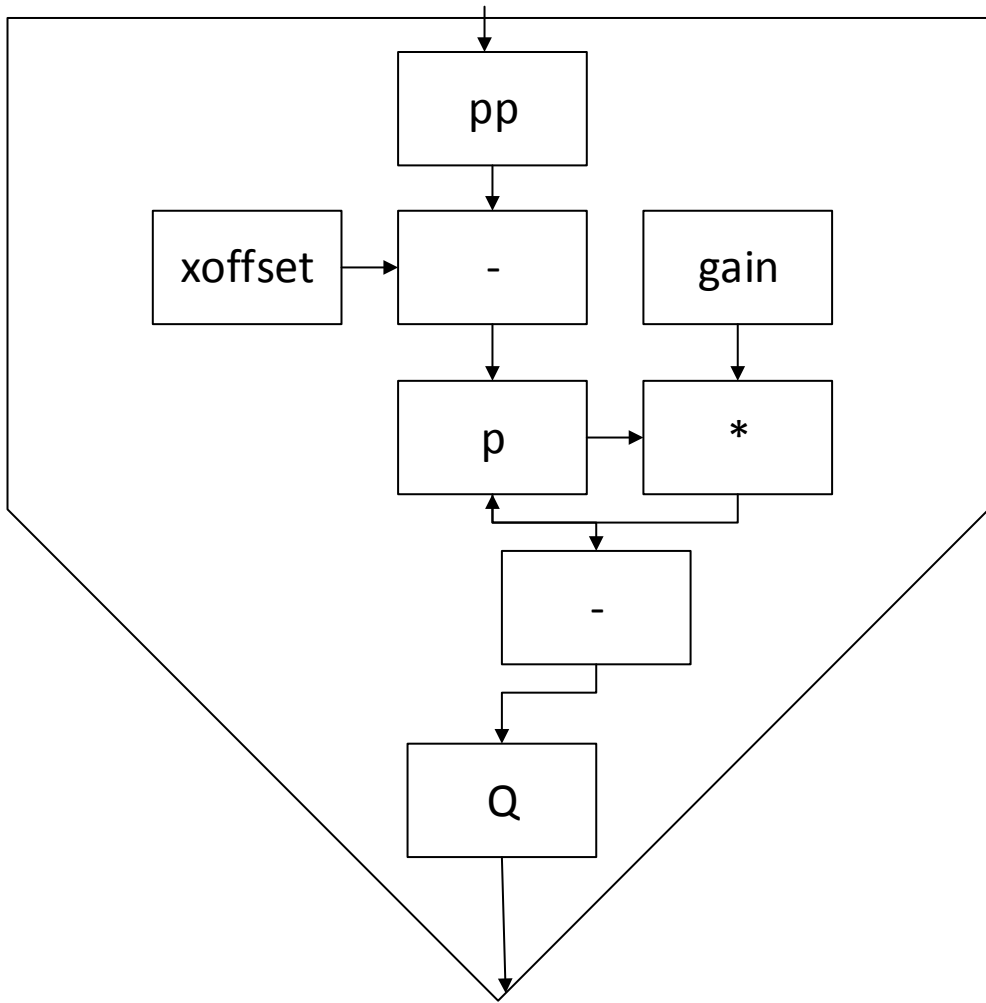
النموذج الرياضي لكل خلية من خلايا المصفوفة الانقباضية، حيث سنستخدم عدة أنواع من الخلايا يمكن توصيفها رياضيا كالتالي:

النوع الأول:

$$p = p - x_{\text{offset}} \quad (3)$$

$$p = p * \text{gain} \quad (4)$$

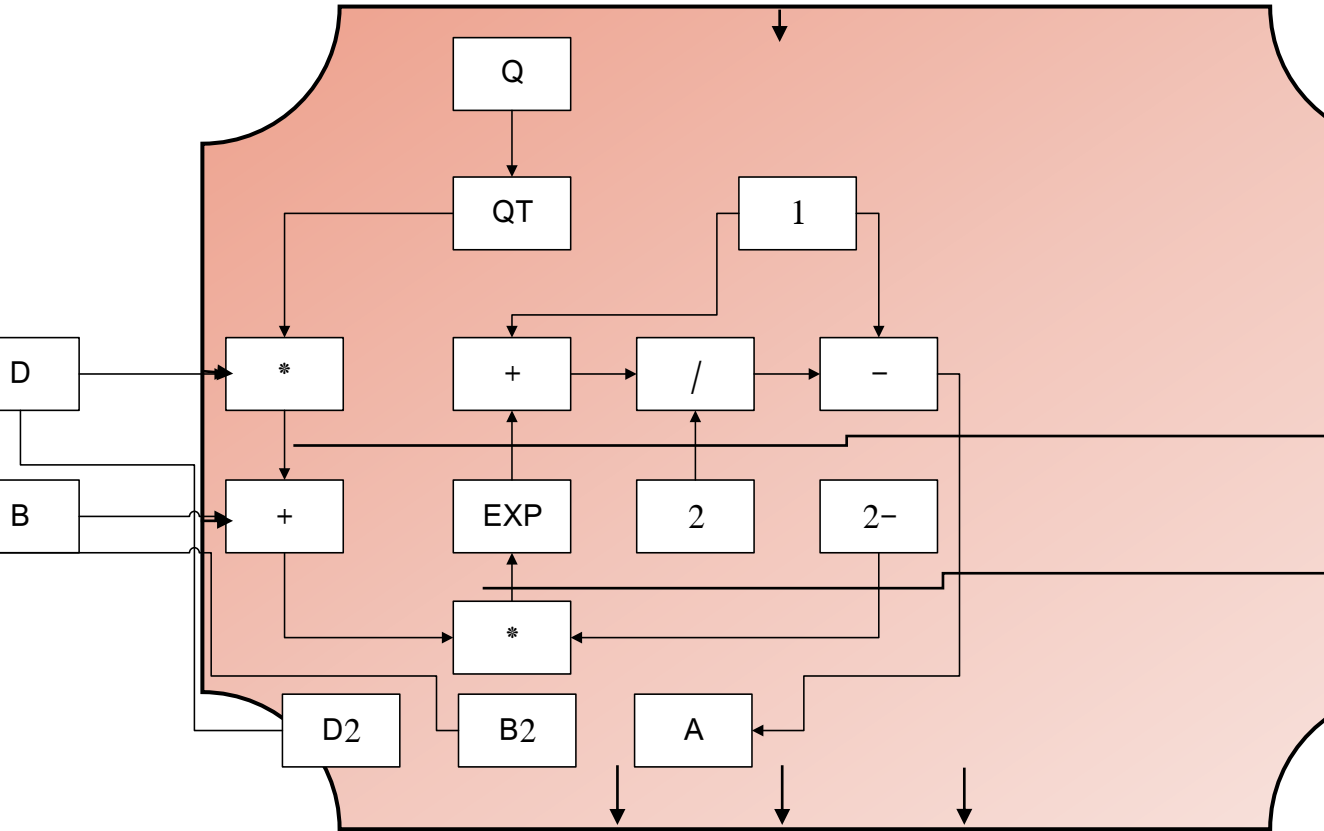
$$Q = p + y_{\text{min}} \quad (5)$$



الشكل (6) بنية الخلية الأولى

النوع الثاني:

$$A = (2 / (1 + \exp(-2 * (B + D * Q^T))) - 1) \tag{5}$$

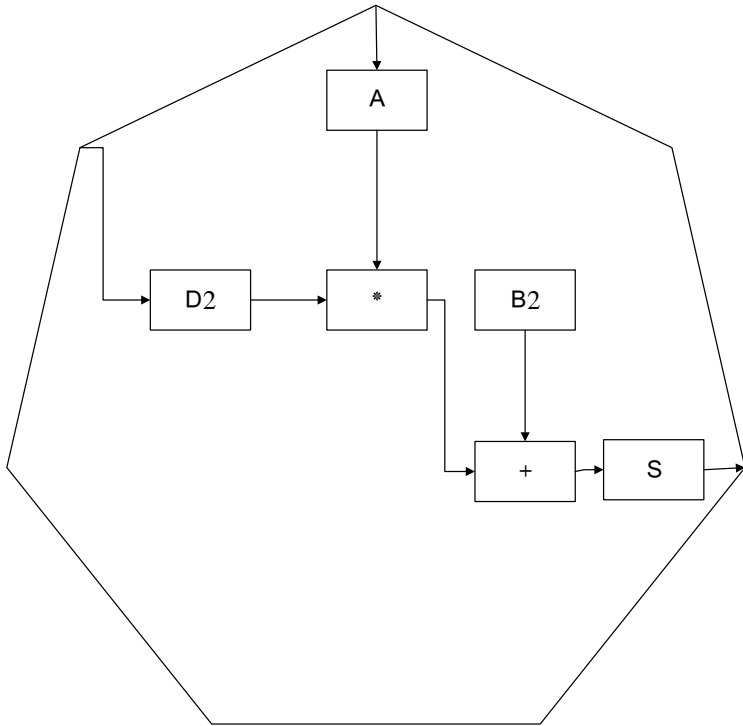


الشكل (7) بنية الخلية الثانية

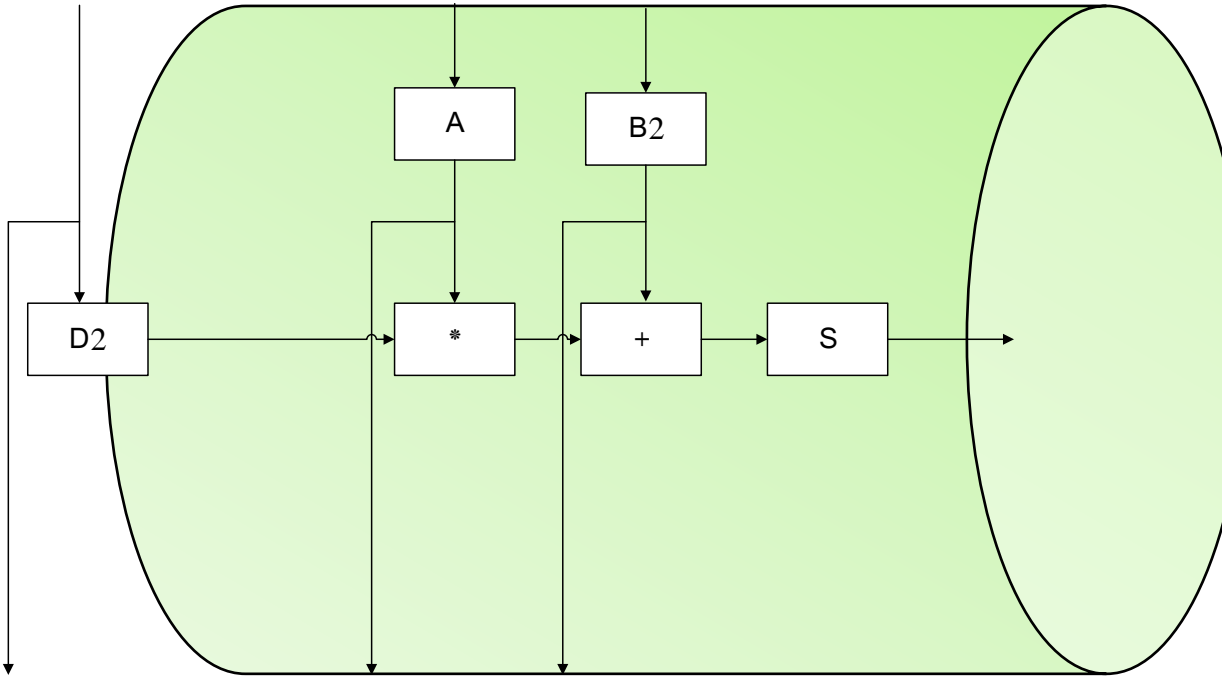
النوع الثالث:

$$S=B_2+D_2*A^T \quad (6)$$

حيث أن البنية المقترحة تتطلب تمثيل المعادلة (6) بنوعين من الخلايا، النوع الأول ويمثل الخلية الثالثة وهو خاص بطبقة الدخل، والنوع الثاني يمثل الخلية الرابعة وهو خاص بالطبقات الخفية.



الشكل (8) بنية الخلية الثالثة

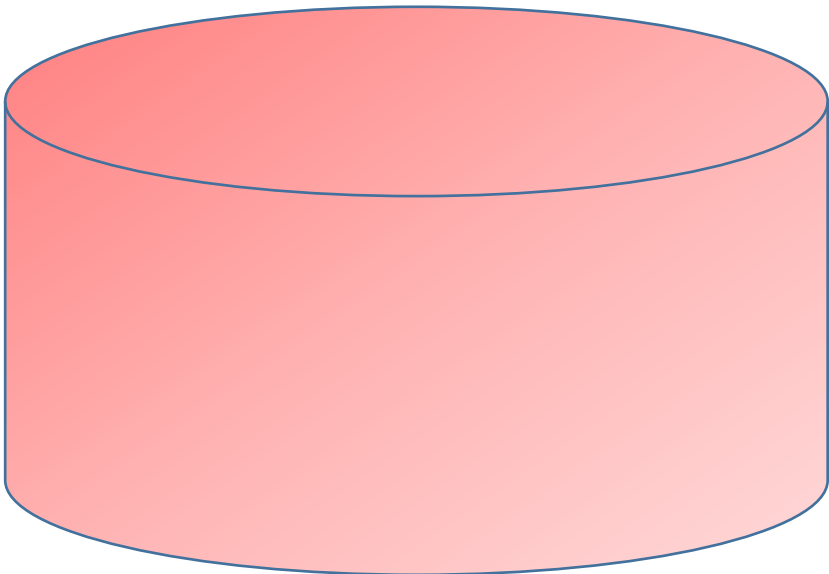


الشكل (9) بنية الخلية الرابعة

النوع الرابع:

$$SS=SS+S \tag{7}$$

$$R= 2 / (1 + \exp(-2*ss)) - 1 \tag{8}$$



مسائل (مشكلات) الأمثلة. العديد من طرق الأدلة العليا تنفذ بعض عمليات الأمثلة العشوائية حتى يكون الحل الناتج معتمدا على المتغيرات العشوائية المولدة وبالبحث في مجموعه كبيرة من الحلول الممكنة، عمليا فان الأدلة العليا يمكنها غالبا إيجاد حلول جيدة بمجهود حسابي اقل من الطرق التكرارية والخوارزميات ولذلك فهي (الأدلة العليا) نهج مفيد في حل مشكلات الأمثلة. الخوارزمية المعتمدة لأمتلة البارامترات:

الخطوة الأولى: تهيئة القيم البدائية لخوارزمية

الحد الأعلى = H, الحد الأدنى = L

$$X_{ij} = L + (L - H) \quad (9)$$

الخطوة الثانية: توليد ارقام عشوائية r_1, r_2, r_3 حيث $r_1 \neq r_2 \neq r_3$ وتقع ضمن المجال.

الخطوة الثالثة: توليد الشعاع v

$$v_j = X_{r3} + F \cdot (X_{r1} - X_{r2}) \quad (10)$$

حيث أن F هو الوزن المطبق على الفرق العشوائي (عامل التحجيم)

الخطوة الرابعة: تطبيق معامل العبور

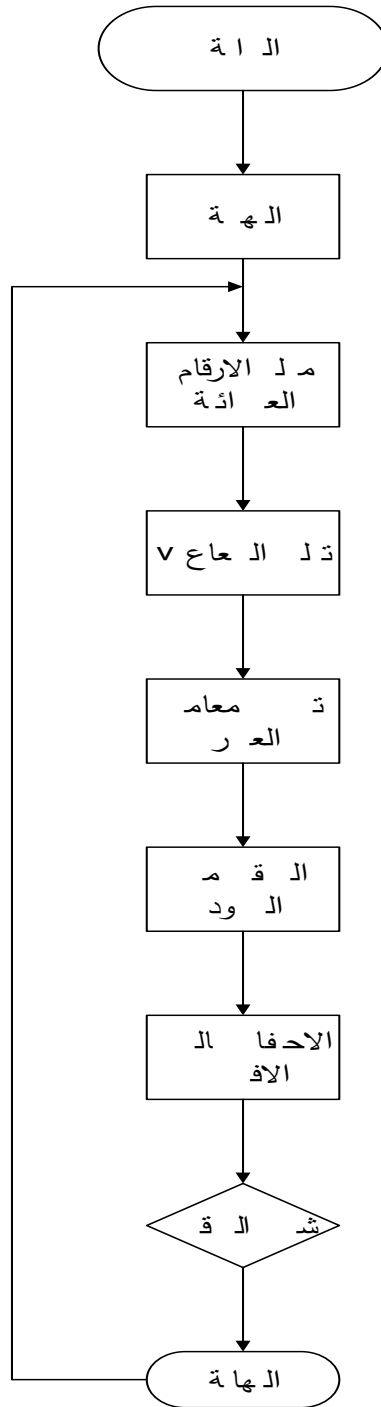
$$U_j = \begin{cases} v_j & \text{if } \text{rand}[0 \ 1] \leq CR \\ \text{او} \\ X_j \end{cases} \quad (11)$$

CR هو ثابت العبور

الخطوة الخامسة: التحقق من الحدود

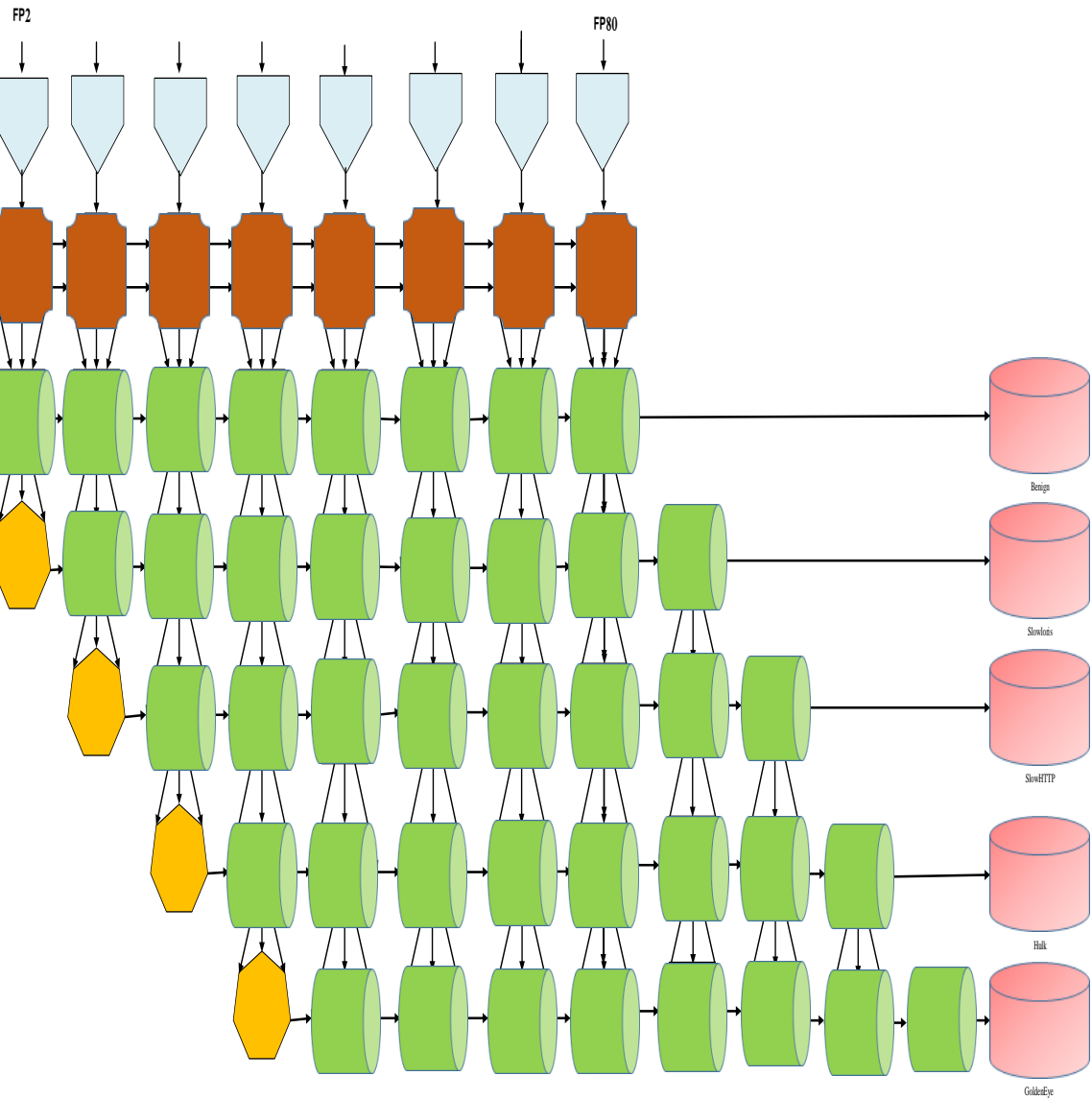
$$\text{If } (U_j \notin [L, H])? U_j = L + (L - H)$$

الخطوة السادسة: حفظ الحل الأفضل



الشكل (11) خوارزمية امثلة البارامترات

وبعد تصميم الخلايا المكونة للمصفوفة الانتقازية يمكن تصميم المصفوفة بشكل كامل حيث أن بيانات النظام هي مداخل للخلايا من النوع الأول والتي تأخذ بيانات إضافية كدخل لها ، ومن المهم ملاحظة أن عملية تطبيق بيانات الدخل لا يتم بشكل مباشرة ، أي انه لا تطبق كل البيانات معا في نفس الوقت ، وإنما يتم تطبيقها بشكل تدريجي ، حيث أن شكل عملية تطبيق الدخل وخرج هذه الخلايا ينتشر بشكل مشابه لسريان الدم في الكائنات الحية ضمن الخلايا من النوع الثاني والتي تأخذ بيانات إضافية كمداخل أيضا ، وخرج الخلايا من النوع الثاني ينتشر بنفس الأسلوب ليصل لخلايا النوع الثالث والتي تمثل خرج النظام ، لذلك يوجد 5 خلايا في الخرج وهذه الخلايا مرقمة من الواحد الى خمسة، عند تطبيق بيانات دخل للنظام فإن خلايا الخرج قيمتها إما تكون صفر أو واحد ، والمصفوفة الانتقازية الكاملة:



الشكل (12) المصفوفة الانقباضية كاملة

ويتم بناء خلايا المصفوفة الانقباضية برمجياً باستخدام الماتلاب :

```
for i=1:80
    A(i)= (2 / (1 + exp(-2*(B(i)+D (i, :)*Q')))-1);
for j=1:5
    S (j, i) =B2(j)+D2(j, :)*A';
End
end
for j=1:5
    for i=1:80
        SS (1, j) =SS (1, j) +S (j, i);
    End
End
for j=1:5
    ss2(j)= 2. / (1 + exp(-2*SS(j))) - 1;
end
```

7. النتائج

تظهر النتائج التي تم الحصول عليها من تصنيف DoS البطيء أن النموذج قادر على تحقيق دقة إجمالية بنسبة 99.8%. مصفوفة الارتباك للنموذج الذي حصل على هذه الدقة موضحة في الشكل (13). يُظهر المحور "x" لمصفوفة الارتباك التسمية المتوقعة ويظهر المحور "y" التسمية الحقيقية. من خلال مقارنة عدد السجلات في كل صنف، يمكننا ملاحظة أن السجلات في كل صنف لا يتم توزيعها بشكل موحد. ومن ثم قمنا بحساب F1 score كقياس للأداء بالإضافة إلى precision و recall. يظهر ملخص دقة التصنيف precision التي تم الحصول عليها و recall و F1 score في الجدول 2.

القيم الحقيقية	Benign	1996	1	0	1	1
	Slowloris	1	821	1	0	0
	SlowHTTP	0	1	485	0	0
	Hulk	0	0	0	155	0
	GoldenEye	0	0	0	0	1567
		Benign	Slowloris	SlowHTTP	Hulk	GoldenEye
		n	s	P		ye
القيم المتوقعة						

الشكل (13) مصفوفة الارتباك لخرج المصنف.

F1 score	Recall	Precision	Traffic type
1.00	1.00	0.99	Benign
0.99	0.99	1.00	Slowloris
0.99	0.99	1.00	Slowhttptest
1.00	1.00	1.00	Hulk
1.00	1.00	1.00	GoldenEye

الجدول 2: ملخص نتيجة التصنيف

ويوضح الجدول 3 مقارنة النتائج من حيث الدقة مع أحدث وأهم الدراسات السابقة.

الدقة	رقم المرجع	قاعدة البيانات	الخوارزمية المستخدمة
99.9952	-	CICIDS2017	الخوارزمية المستخدمة
99.9920	[22]	CICIDS2017	ML
99.6100	[21]	CICIDS2017	DL
82.1000	[23]	CICIDS2017	SVM

الجدول 3: مقارنة النتائج

يلاحظ من مقارنة النتائج السابقة تفوق النموذج المقترح على الدراسات المرجعية السابقة، يرجع ذلك التفوق الى بنية المصفوفة الانقباضية والتي تتميز بالمعالجة التفرعية للبيانات.

8. التوصيات المستقبلية

تم تقديم مصنف قائم على التعلم العميق والمصفوفات الانقباضية لهجوم HTTP DoS البطيء. تم تقييم المصنف باستخدام مجموعة بيانات CICIDS2017. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن المصنف يمكنه تصنيف الهجوم بدقة 99.9952%. على الرغم من أن المصنف قد حقق دقة أعلى، إلا أنه من المهم تقييم المصنف وقياس أدائه مع حركة المرور الحقيقية.

المراجع

- [1] S.T. Zargar, J. Joshi, D. Tipper, A survey of defense mechanisms against distributed denial of service (ddos) flooding attacks, IEEE Commun. Surv. Tutor. 15 (4) (2013) 2046–2069.
- [2] A. Almomani, M. Alauthman, F. Albalas, O. Dorgham, A. Obeidat, An online intrusion detection system to cloud computing based on neucube algorithms, Int. J. Cloud Appl. Comput. 8 (2) (2018) 96–112.
- [3] A. Bhardwaj, S. Goundar, Comparing single tier and three tier infrastructure designs against DDoS attacks, Int. J. Cloud Appl. Comput. 7 (3) (2017) 59–75.
- [4] K. Bhushan, B.B. Gupta, Distributed denial of service (ddos) attack mitigation in software defined network (SDN)–based cloud computing environment, J. Ambient Intell. Humaniz. Comput. 10 (5) (2019) 1985–1997.
- [5] F.S. d. Lima Filho, F.A. Silveira, A. de Medeiros Brito Junior, G. Vargas–Solar, L.F. Silveira, Smart detection: An online approach for DoS/DDoS attack detection using machine learning, Secur. Commun. Netw. (2019).

- [6] M. Latah, L. Toker, Minimizing false positive rate for DoS attack detection: A hybrid SDN-based approach, *ICT Express* 6 (2) (2020) 125–127.
- [7] E. Cambiaso, G. Papaleo, M. Aiello, Taxonomy of slow DoS attacks to web applications, in: *International Conference on Security in Computer Networks and Distributed Systems*, Springer, Berlin, Heidelberg, 2012, pp. 195–204.
- [8] Muraleedharan, N., and B. Janet. "A deep learning based HTTP slow DoS classification approach using flow data." *ICT Express* 7.2 (2021): 210–214.
- [9] Nugraha, Beny, and Rathan Narasimha Murthy. "Deep learning-based slow DDoS attack detection in SDN-based networks." *2020 IEEE Conference on Network Function Virtualization and Software Defined Networks (NFV-SDN)*. IEEE, 2020.
- [10] M. Aamir and S. M. A. Zaidi, "Clustering based semi-supervised machine learning for DDoS attack classification," *Journal of King Saud University—Computer and Information Sciences*,

- 2019.
- [11] R. K. C. Chang, "Defending against flooding-based distributed denial-of-service attacks: a tutorial," *IEEE Communications Magazine*, vol. 40, no. 10, pp. 42–51, 2002.
- [12] W. Meng, W. Li, C. Su, J. Zhou, and R. Lu, "Enhancing trust management for wireless intrusion detection via traffic sampling in the era of big data," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 7234–7243, 2017.
- [13] B. Pfaff, J. Pettit, T. Koponen et al., "The design and implementation of Open vSwitch," in *12th USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation (NSDI 15)*, pp. 117–130, USENIX Association, Oakland, CA, USA, 2015,
- [14] J. Le, R. Giller, Y. Tatsumi, H. Huang, J. Ma, and N. Mori, *Case Study Developing DPDK-Accelerated Virtual Switch Solutions for Cloud Service Providers*, Intel Corporation, Santa Clara, CA, USA, 2019,
- [15] R. Panigrahi and S. Borah, "A detailed analysis of CICIDS2017 dataset for designing intrusion detection Systems," *International Journal of Engineering & Technology*, vol. 7, no. December, pp. 479–482, 2018,

- [16] N. Tripathi, N. Hubballi, Slow rate denial of service attacks against HTTP/2 and detection, *Comput. Secur.* 72 (2018) 255–272.
- [17] M.M. Najafabadi, T.M. Khoshgoftaar, A. Napolitano, C. Wheelus, RUDY Attack: Detection at the Network Level and Its Important Features., in: *FLAIRS Conference*, 2016, pp. 288– 293.
- [18] J. Park, K. Iwai, H. Tanak, T. Kurokawa, Analysis of Slow Read DoS Attack and Countermeasures, in: *The International Conference on Cyber-Crime Investigation and Cyber Security (ICCICS2014)*, The Society of Digital Information and Wireless Communication, 2014, pp. 37–49.
- [19] R. Hofstede, P. Celeda, B. Trammell, I. Drago, R. Sadre, A. Sperotto, A. Pras, Flow monitoring explained: From packet capture to data analysis with NetFlow and IPFIX, *IEEE Commun. Surv. Tutor.* 16 (4) (2014) 2037–2064.
- [20] Keras: The Python Deep Learning library, [Online]. Available: <https://keras.io/>.

- [21] scikit-learn: Machine Learning in Python, [Online]. Available: <https://scikit-learn.org/stable/index.html>.
- [22] P. Phaal and M. Lavine, sFlow version 5, InMon Corp, San Francisco, CA, USA, 1981, https://sflow.org/sflow_version_5.txt.
- [23] S. Simpson, S. N. Shirazi, A. Marnerides, S. Jouet, D. Pezaros, and D. Hutchison, "An inter-domain collaboration scheme to remedy DDoS attacks in computer networks," IEEE Transactions on Network and Service Management, vol. 15, no. 3, pp. 879–893, 2018.

تحديد موقع القناص بمستشعرات صوتية

المهندس مسعود علي علي*

ملخص

تقسم طراق تحديد موقع القناص إلى فئتين فرعيتين متميزتين – التخمين Estimation الذي يحدد مكان إطلاق النار ، والكشف Detection : الذي يحدد ما إذا كانت الإشارة المكتشفة هي نيران قنص أم ضوضاء.

تعتمد كلتا المشكلتين بشكل أساسي على الإشارات الصوتية من طلقة أو عدة طلقات نارية ، والتي يمكن اكتشافها، وتحديد زمن التقاطها بواسطة عُقد المستشعر الصوتي. يمكن بعد ذلك استغلال هذه القياسات لتقدير المكان الذي أطلقت منه الطلقة.

في هذا الدراسة ، استخدمنا MATLAB لتوليد عينة من قياسات وقت وصول إشارة انفجار فوهة السبطانة (Muzzle Blast (MB) ، والتي استخدمناها لحساب فرق وقت الوصول Time difference of arrival (TDOA) بين المستشعرات .

باستخدام نموذج يعتمد على بيانات TDOA ، تمكنا من تحديد زاوية وصول الطلقة (Angles of Arrives (AOA) وتنفيذ طريقة الاحتمال الأقصى Maximum likelihood method لتقدير موقع القناص. ومن ثم قمنا بالتحقيق في تأثير ترتيبات عقدة المستشعر المختلفة، وكذلك تباين المعاملات، على دقة تحديد الموقع. بالإضافة إلى التخمين ، استخدمنا اختبار طريق التليث لاستكشاف موقع القناص وفرضية Neyman-Pearson lemma (NPL) لتمييز طلقة القناصة عن الضوضاء.

الكلمات المفتاحية : تحديد الموقع - القناصة - المستشعر الصوتي - فرق وقت الوصول - زاوية الوصول -

* المهندس: مسعود علي علي طالب دكتوراه في جامعة البعث -كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – قسم الهندسة الإلكترونية والاتصالات – بإشراف أ. د. شحادة الموسى

Locate the sniper with sound sensors

M. Masoud Ali Ali*

Summary

Sniper locating methods fall into two distinct subcategories - Estimation, which determines where to fire, and Detection, which determines whether the detected signal is sniper fire or noise. Both problems depend mainly on the acoustic signals from one or several shots, which can be detected, and when captured by the acoustic sensor nodes. These measurements can then be used to estimate where the shot was fired.

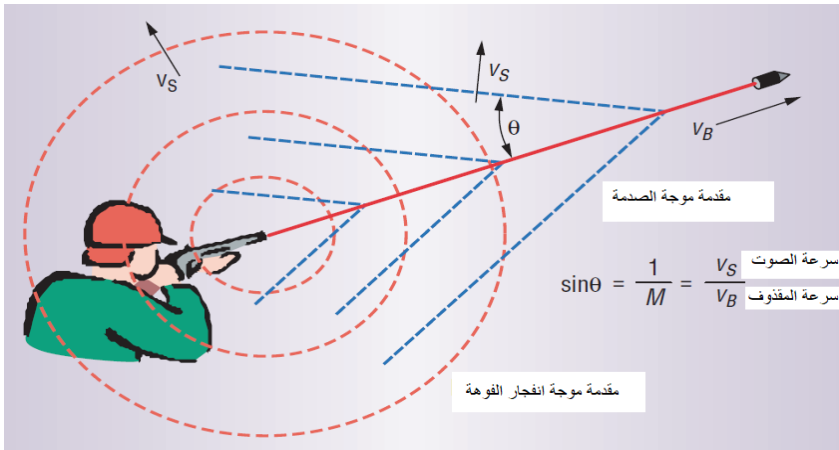
In this study, we used MATLAB to generate a sample of Muzzle Blast (MB) burst signal arrival time measurements, which we used to calculate the time difference of arrival (TDOA) between the sensors. Using a model based on TDOA data, we were able to determine the Angles of Arrives (AOA) shot angle and implement a maximum likelihood method to estimate the sniper's position. We then investigated the effect of different sensor node arrangements, as well as coefficient variance, on positioning accuracy. In addition to guesswork, we used the triangular road test to explore the sniper location and the Neyman-Pearson lemma (NPL) hypothesis to distinguish sniper shot from noise.

Keyword: locating - Sniper - acoustic sensor - time-of-arrival difference (TDOA)

* Engineer: Masoud Ali Ali, PhD student at Al-Baath University - Faculty of Mechanical and Electrical Engineering - Department of Electronics and Communications Engineering - under the supervision of Prof. Dr.. Shehada Al-Mousa

1 - مقدمة

تحديد موقع القناص هو قضية مهمة في كل من الدفاع العسكري والأمن المدني. هناك العديد من الأنواع المختلفة لأنظمة تحديد موقع القناص المستخدمة اليوم، والتي تتكون من عقد استشعار يمكنها اكتشاف الإشارات مثل الصوت والحركة والضوء. يتناول البحث شبكة أجهزة الاستشعار الصوتية، والتي تتعرف على الظواهر الصوتية الناتجة عن طلقة نارية (قناصة) [1]. تعتمد هذه الأنظمة في المقام الأول على المعلومات الواردة من موجة الصدمة (*SW*) *the shot wave*، وهذه الموجة أسرع من الصوت وناتجة عن احتكاك المقذوف السريع مع الهواء. يولد المقذوف الأسرع من الصوت موجة اهتزاز في كل نقطة من مساره، مما ينتج عنه جبهة موجة مخروطية الشكل بافتراض أن سرعة المقذوف ثابتة، كما هو موضح بالشكل (1). وصوت الانفجار *muzzle blast* الناتج عند خروج الطلقة من فوهة السبطانة، وهو الشكل الموجي الناتج عن رصاصة تغادر السبطانة، وتشكل جبهة موجة كروية تنتقل بسرعة الصوت انطلاقاً من فوهة السبطانة ، لا يمكن اكتشاف موجة الصدمة إلا بواسطة أجهزة الاستشعار الموجودة داخل مسار الرصاصة - وهو مخروط سريع التوسع ، يكون محوره هو مسار الرصاصة [2] .



الشكل (1) الأحداث الصوتية الناتجة عن طلقة قناصة

تستخدم الأنظمة الصوتية القياسية مصفوفات من المستشعرات الصوتية، سواء كانت ثابتة أو متحركة، لاكتشاف هاتين الإشارتين وختمهما الزمني. في العمليات العسكرية، غالبًا ما توضع أجهزة الاستشعار على خوذات الجنود أو على مركبات المدفعية؛ ومع ذلك، فإن تنقل المستشعر والتداخل الناتج من الانعكاس في البيئة المحيطة يزيد من تعقيد مشكلة التقدير لدينا، لذلك طبقنا نموذجنا على شبكة استشعار صوتية ثابتة. من خلال النظر في موقع المستشعر بالاقتران مع قياسات الوقت من الظواهر الصوتية لطلقات نارية، من الممكن تقدير موضع القنص بدرجة عالية من الدقة [3].

تستخدم بعض الأنظمة تقنية وقت وصول متقدمة (*Time of Arrival*) *(TOA)* ، والتي تتعامل مع أخطاء المزامنة بشكل فردي عبر شبكة المستشعرات بالكامل. ومع ذلك، تعتمد غالبية الأنظمة على خوارزمية فارق التوقيت في الوصول *(Time difference of arrival)* *(TDOA)* لتحديد موقع منشأ الإشارة. تطبق معظم العمليات العسكرية نموذج *TDOA* الذي يستخدم مزيجًا من إشارات *Muzzle Blast (MB)* و *Shote Wave (SW)* . يؤدي تنفيذ نموذج يعتمد على موجة الصدمة لطلقة نارية إلى زيادة دقة التحديد، ولكنه يتطلب معرفة سرعة الرصاصة ومسارها، وهي معاملات ليس من السهل محاكاتها. لذلك، للتبسيط نظرنا فقط في انفجار *MB* في نموذج الإشارة الخاص بنا [4].

2 - هدف البحث:

تهدف هذه الدراسة، لتحديد موقع قنص يقوم بعملية قنص واحدة، ويختفي لفترة زمنية طويلة نسبيًا، وقد يقوم بتغيير مكانه عند الاطلاق مرة أخرى، وذلك باستخدام مصفوفة مكونة من ثلاث مستشعرات صوتية- لكشف الانفجار الناتج عند فوهة السبطانة *MB* - موضوعة على شكل مثلث قائم الزاوية، ويمكن تركيبها على خوذة الجندي لتشكيل عقدة تحديد الاتجاه ، ومن خلال ربطها ضمن

شبكة مكونة من عدة عقد - على الأقل ثلاث عقد - يتم التحديد الدقيق لموقع القنص. ويجب الأخذ بالاعتبار التمييز بين الطلقة والضجيج.

3 - طريقة إجراء البحث:

نستخدم البيانات التي تم إنشاؤها بواسطة *MATLAB* لمحاكاة قياسات وقت الوصول (*TOA*) لإشارة انفجار الفوهة *MB*. نفترض وجود قنص واحد داخل شبكة المستشعرات الصوتية.

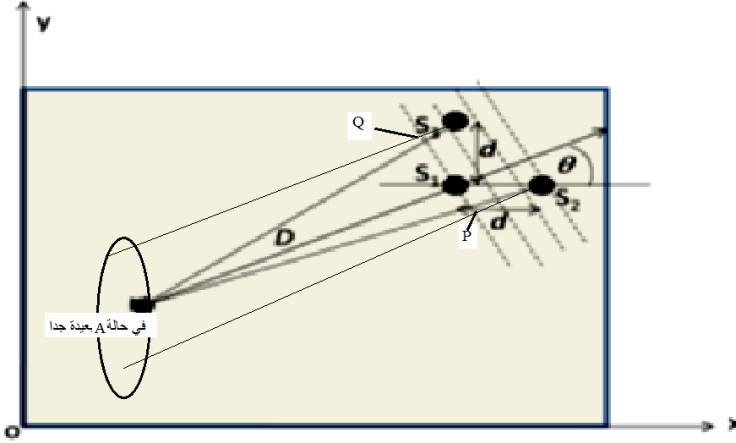
تم اقتراح تقنية تمكننا من تحديد موقع مصدر صوتي في وسط غير ايزوتروبي باعتبار أن وسط انتشار الصوت المراد كشفه يأتي من اتجاه واحد تقريبا لجميع المستشعرات لبعد مصدر الصوت (800 - 3000 متر)، وقرب المستشعرات المستقبلية من بعضها البعض (0.2- 0.3 متر)، والتي تتركب على خوذة الجندي، وبدون معرفة السرعة الدقيقة المعتمدة على الاتجاه في الوسط ومن دون الحاجة حتى لحل جملة معادلات غير خطية، لأننا اعتمدنا على الفرق الزمني لوصول الصوت إلى الحساسات القريبة من بعضه. وقد تم تحقيق هذه التقنية تجريبياً لأوساط مكوّنة من مواد موحدة الخواص (بأربع حساسات استقبال) [5] ، مع ضرورة التنويه إلى وجود تقنيات أخرى لتحديد موقع المصدر الصوتي في وسط غير موحّد الخواص إلا أنها تحتاج لحل جملة معادلات غير خطية، و بالتالي فهي أكثر تعقيداً من الناحية الحاسوبية [6].

باستخدام ثلاث حساسات استقبال S_1, S_2, S_3 متوّضعة على الخوذة، كما هو في مابين بالشكل (2).

فإذا كانت إحداثيات الحساسات الثلاث S_1, S_2, S_3 هي على الترتيب: (x_3, y_3) و (x_2, y_2) ، (x_1, y_1) عندها يكون: $x_2 = x_1 + d$ ، $x_3 = x_1$ ، $y_2 = y_1 + d$ ، $y_3 = y_1 + d$. إحداثيات المصدر الصوتي A هي (x_A, y_A) والمسافة d بين الحساسات هي أصغر من المسافة D بين المصدر الصوتي، و

الحساس S_i
 وبالتالي زاوية الميل θ للمستقيمات AS_1, AS_2, AS_3 - كما في الشكل (2) -
 يمكن افتراضها على أنها متساوية تقريباً، و بسبب هذا الافتراض فإن الإشارات
 المستقبلية من هذه الحساسات الثلاثة، يجب أن تكون تقريباً متماثلة، ولكن مُزاحة
 زمنياً بعض الشيء، و سرعة الموجة في الاتجاه من نقطة المصدر A نحو
 الحساسات S_1, S_2, S_3 يجب أن تكون تقريباً متساوية حتى في حالة كون الوسط
 غير موحد الخواص، ويمكن التعبير عن الزاوية θ بالعلاقة:

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{y_1 - y_A}{x_1 - x_A} \right) \approx \tan^{-1} \left(\frac{y_2 - y_A}{x_2 - x_A} \right) \approx \tan^{-1} \left(\frac{y_3 - y_A}{x_3 - x_A} \right) \quad (1)$$



الشكل (2) ثلاث حساسات استقبال في المواقع S_1, S_2, S_3 مستخدمة لتحديد الموقع

بعد الوصول إلى الحساس S_1 فإن الزمن اللازم لوصول مقدمة الموجة إلى
 الحساسين S_2 و S_3 يسمّى $t_{21} = t_2 - t_1$ و $t_{31} = t_3 - t_1$ على التوالي،
 ويُعطى هذان التأخيران الزمنيان بالعلاقة:

$$t_{21} = \frac{d \cos \theta}{c(\theta)} \quad \& \quad t_{31} = \frac{d \cos \theta}{c(\theta)} \quad (2)$$

حيث $c(\theta)$ هي سرعة الموجة في الاتجاه θ ، ومن المعادلة (2) يمكن استنتاج التالي:

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{t_{31}}{t_{21}} \right) \quad (3)$$

و حسب المعادلة (2) يكون:

$$c(\theta) = \frac{d * \cos \theta}{t_{21}} = \frac{d * t_{21}}{t_{21} \sqrt{t_{21}^2 + t_{31}^2}} = \frac{d}{\sqrt{t_{21}^2 + t_{31}^2}} \quad (4)$$

في المعادلة (2) والشكل (2) تم استنتاج $\cos \theta = \frac{t_{21}}{\sqrt{t_{21}^2 + t_{31}^2}}$ باعتبار

أن:

$$(AS_2 - AS_1) = c(\theta)t_{21}$$

$$(AS_3 - AS_1) = c(\theta)t_{31} \text{ و}$$

وبافتراض المستقيمت الثلاثة AS_1, AS_2, AS_3 متوازية، وهي الحالة التي يكون فيها المصدر بعيد عن الحساسات- كما هو موضح بالشكل (2) - نلاحظ أن المثلثين S_1S_2P ، S_1S_3Q يكونا متشابهين في هذه الحالة.

الخطين AS_2, AS_3 يقاطعان مقدمة الموجة الذاهبة إلى الحساس S_1 في

النقاط P, Q على التوالي، وبالتالي:

$$\cos \theta = \frac{PS_2}{S_1S_2} = \frac{PS_2}{\sqrt{PS_2^2 + PS_1^2}} = \frac{PS_2}{\sqrt{PS_2^2 + QS_3^2}}$$

$$\cos \theta = \frac{c(\theta)t_{21}}{\sqrt{c(\theta)^2 t_{21}^2 + c(\theta)^2 t_{31}^2}} = \frac{t_{21}}{\sqrt{t_{21}^2 + t_{31}^2}} \quad (5)$$

من المعادلات (3) و (4) فإن اتجاه انتشار الموجة وسرعتها في هذا

الاتجاه يُستنتجان وفق القيم المُقاسة تجريبياً ل t_{21}, t_{31} .

3 - 1 - وقت الوصول (TOA)

بفرض T_i وقت وصول إشارة انفجار MB ، عبارة عن مصفوفة $m \times 1$ ؛ حيث m هو عدد المستشعرات في الشبكة باعتبار وجود قنص واحد اطلق رصاصة واحدة . يتم تحديد وقت الوصول إلى المستشعر i بالعلاقة:

$$\tau_i = \frac{r_i}{c} + \tau_0 \quad (6)$$

حيث r_i هي المسافة من مستشعر i إلى مصدر إطلاق النار، و c هي سرعة الصوت، ثابتة عند 343.2 م / ث. τ_0 هو الأصل الزمني لانفجار MB ، ويتم نمذجته كضوضاء باستخدام توزيع غاوسي بمتوسط $\mu = 0$ ، والتباين σ^2 و T_i هو بالضبط الوقت بالثواني التي تستغرقه إشارة انفجار MB للوصول إلى المستشعر i ، بالإضافة إلى مصدر زمني عشوائي للإشارة.

3 - 2 - الفارق الزمني للوصول (TDOA)

بعد إنشاء بيانات TOA ، تمكنا من تحديد الفارق الزمني لقياسات الوصول لاستخدامها في نموذج الإشارة الخاص بنا. سمح لنا تعيين مستشعر واحد كمرجع بإيجاد الفرق بين أوقات الوصول إلى المستشعر المشار إليه وبقيّة المستشعرات في النظام - لكل مستشعر غير مرجعي i ، قمنا بحساب الفرق بين TOA في المستشعر المرجعي و TOA في المستشعر i ، والذي أعطانا إجمالي قياسات $TDOA$ $m-1$ لكل طلقة . تعد بيانات $TDOA$ أقوى بكثير من بيانات TOA لأنها تقلل من خطأ التزامن الزمني، الذي يحدث عندما تكتشف أجهزة استشعار متعددة نفس الإشارة، وبخلاف ذلك، سيتعين التعامل مع هذه المشكلة باستخدام تقنيات تحديد موقع GPS المتقدمة لكل مستشعر فردي. فيما يلي المعادلة الرياضية لـ $TDOA$.

$$TDOA = \tau_i - \tau_1 = \left(\frac{r_i}{c} - \frac{r_1}{c} \right) + (\tau_0^i - \tau_0^1) \quad (7)$$

3-3 - النموذج Model

يمكن كتابة النموذج النهائي للمعالجة على النحو $Y = \theta + e$ ، حيث Y هي البيئية، و θ هو الفرق الزمني الدقيق للوصول، و e هو الخطأ من قياسات أصل الوقت. Y و e مستقلتان وموزعتان بشكل طبيعي [6] بحيث:

$$Y \sim N(\theta, \sigma^2) \quad \& \quad e \sim N(0, \sigma^2) \quad (8)$$

$$Y = \theta + e = \left(\frac{r_i}{c} - \frac{r_1}{c} \right) + (\tau_0^i - \tau_0^1) \quad (9)$$

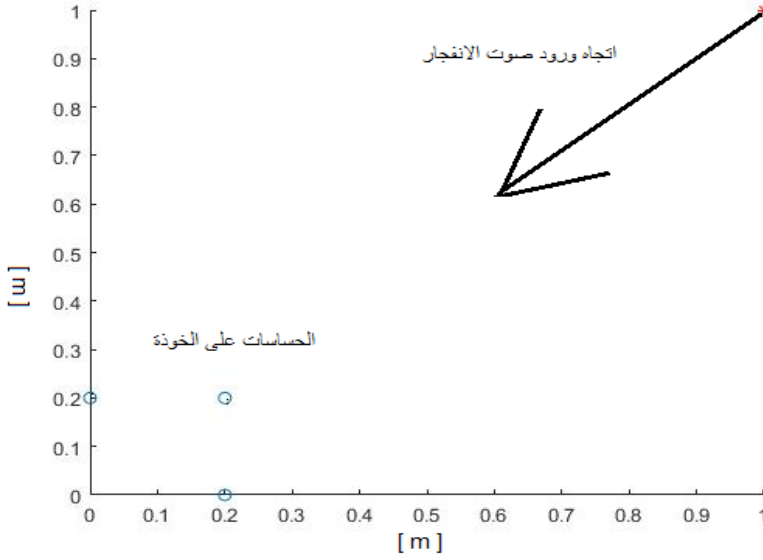
لتقدير موقع القناص، قمنا باستغلال البصمة الزمنية المتولدة للإشارات الصوتية، ثم حسبنا قياسات $TDOA$. افترضنا أن موضع القناص بعيد عن موقع الكشف وموضع عقد الاستشعار معروفان.

3-4 - التنفيذ Implementation

باستخدام هذه المعلومات، تمكنا من تحديد فرق زمن الوصول الى المستشعرات وبالتالي تحديد زاوية الوصول θ_i لكل مستشعر وبأخذ المتوسط نحصل على زاوية الورود لهذه العقدة، كما تم تجريب زيادة المسافة بين المستشعرات، وتبين أنه يحسن في دقة تحديد زاوية الورود AOA ، كما أنه باستخدام 5 مستشعرات يزيد دقة تحديد الزاوية AOA ، ولكن لاعتبارات عملية لا يمكن زيادة المسافة عن حد معين وزيادة عدد المستشعرات، لكي تبقى قابلة للتركيب على خوذة الجندي.

يتضح من التحليل أن مواقع القناصة سواء في العمليات العسكرية أو في الأمن المدني، ليست بالضرورة الأكثر ملاءمة لتقدير موقع إطلاق النار بدقة.

تم توضع المستشعرات الصوتية، كما هو موضح بالشكل (3) ، وتم تحديد موقع القناص من قبل كل مجموعة مستشعرات باعتبار أن موقع القناص الدقيق $(XA=3000 \ \& \ YA=3000 \ m)$.



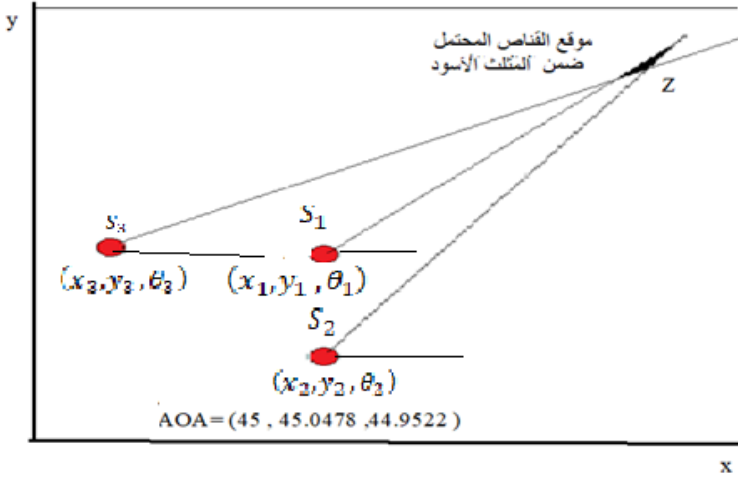
الشكل (3) توضع مجموعة المتشعرات الثلاثة

بحساب الفارق الزمني أو قياسه تجريبيا حصلنا على زوايا ورود الإشارة:

$$AOA = (45, 44.9522, 45.0478)$$

باستخدام طريقة التثليث يمكن حساب موقع القنص بدقة عالية كما هو مبين بالشكل (4). باعتبار كل دائرة تمثل جندي يحمل عقدة تحديد الموقع ومتصلة مع العقد الأخرى لاسلكيا لتبادل معلومات التحديد، والمسافة بين الجنود لا تزيد عن مدى الاتصال اللاسلكي (5 - 10 متر) [7].

لو أن عملية تحديد الزوايا دقيقة كان يجب أن تتقاطع الخطوط الثلاث في نقطة واحدة ، ولكن بسبب الخطأ المرتكب في عملية القياس فأن نقاط التقاطع تشكل مثلث تصغر مساحته كلما زادت دقة القياس. ولكن حسب نظرية الاحتمالات فإن القنص يقع في مركز ثقل المثلث. ولكن بسبب مساحة المثلث الصغيرة يمكن بتقريب جيد اعتبار مركز المثلث يقع في المتوسط الحسابي لرؤوس المثلث [8].



الشكل (4) يوضح طريقة تحديد الموقع بالتثليث

يتم حساب نقطة تقاطع المستقيمين المنطلقين من مكان الجنديين وبزاويتين معروفتين ، تم تحديدها من قبل مجموعة الحساسات المشكلة للعقدة على النحو التالي:

$$(10) \quad \tan \theta_2 = \Omega_2 = \frac{y-y_2}{x-x_2} \quad \tan \theta_1 = \Omega_1 = \frac{y-y_1}{x-x_1}$$

بحل جملة المعادلتين في (10) نحدد موقع التقاطع بالعلاقتين (11) و(

12) التاليتين:

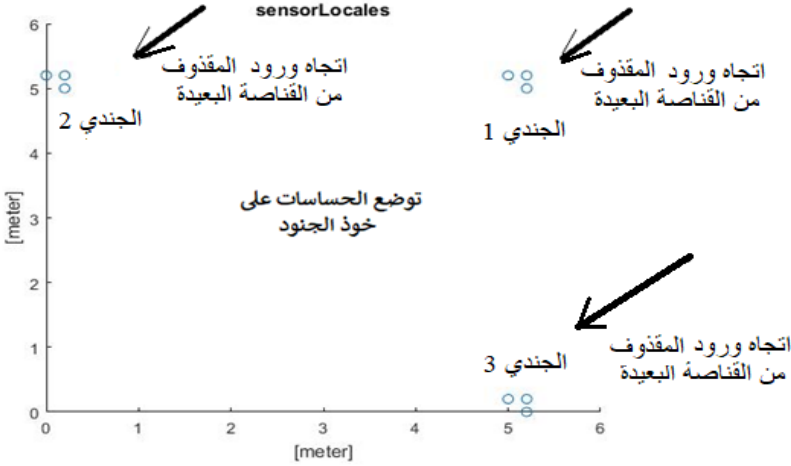
$$(11) \quad \dot{x} = \frac{(y_2-y_1)+\Omega_1x_1-\Omega_2x_2}{\Omega_1-\Omega_2}$$

$$(12) \quad \dot{y} = \frac{\Omega_1\Omega_2(x_2-x_1)-\Omega_1y_2+\Omega_2y_1}{\Omega_2-\Omega_1}$$

وبأخذ العقدة 1 مع 3 نحصل على نقطة التقاطع الثانية ، وبأخذ العقدة 2 مع 3 نحصل على نقطة التقاطع الثالثة . فيحدد عندها الاحتمال الأعظمي لموقع القنص بالعلاقة :

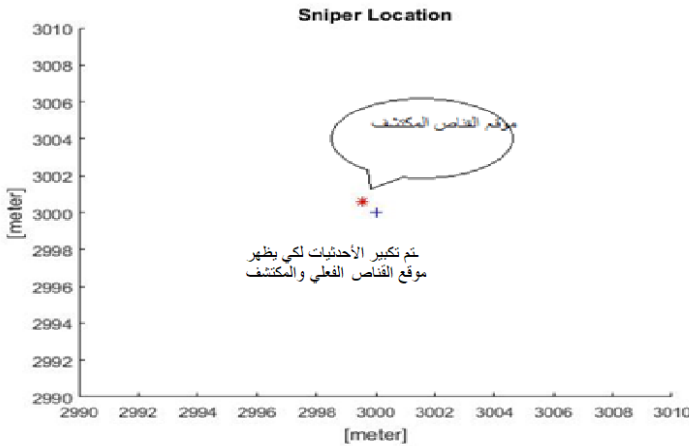
$$x^m = \frac{\dot{x}+\ddot{x}+\ddot{x}}{3} \quad , \quad y^m = \frac{\dot{y}+\ddot{y}+\ddot{y}}{3} \quad (13)$$

أما خطوات الحل فهي: ادخال مواقع الحساسات الموضوعة على خوذة الجندي، وكذلك توضع العقد (الجنود) كما في الشكل (5). وكذلك افتراض موقع القناص.



الشكل (5) توضع الحساسات على خوذة الجنود

كل عقدة على خوذة الجندي تحدد زاوية الورود AOA بعد إضافة الخطأ المرتكب من هذه الزوايا الثلاث يحدد موقع القناص المكتشف. والفرق بين الموقعين هو الخطأ الناتج عن القياس. كما هو موضح بالشكل (6)



الشكل (6) تحديد موقع القناص

3 - 5 - متوسط مربع الخطأ (MSE) Mean Square Error

يقيس متوسط الخطأ التربيعي (MSE) الفرق بين المقدّر وما هو مفاًس؛ بحكم التعريف، فإن MSE هو متوسط مجموع كل مصطلح تربيع خطأ. في نموذجنا، تم حساب متوسط مجموع الأخطاء التربيعية التي تغطي $m-1$ قياسات $TDOA$:

$$(14) \quad MSE = \frac{1}{m-1} * \sum_{i=2}^m (\theta - \theta_i)^2$$

ومع ذلك، نظرًا لأن هدفنا النهائي كان تقدير موضع القناص ، بدلاً من $TDOA$ ، فقد استبدلنا θ بـ x و y على النحو التالي [9]:

$$(15) \quad MSE = \frac{1}{m-1} * \sum_{i=2}^m (x - x_i)^2 + (y - y_i)^2$$

تمثل θ فرق وقت الوصول بين الإشارات في المستشعر المرجعي، ومستشعر آخر في الشبكة لإطلاق طلقة من الموضع (x_A, y_A) .

4 - التنفيذ Implementation

استخدمنا طريقة الاحتمال الأقصى وتعني الأخطاء التربيعية لتقدير موضع القناص. وشمل ذلك البحث في كل نقطة إحداثياتها عدد صحيح في نطاق معين لتحديد النقطة (x, y) ، التي أدت إلى أصغر خطأ مربع متوسط لقياسات $m-1$ $TDOA$ عبر طلاقات T . ومع ذلك ، من أجل تنفيذ هذه الخوارزمية ، كان علينا تحويل كل من إحداثيات (x, y) في مساحة البحث لدينا إلى قياس زمني مكافئ لقياسات TOA الدقيقة المرتبطة بها. تم إجراء هذا الحساب عن طريق إيجاد المسافة من كل نقطة إحداثيات، ومن ثم تم البحث عنها إلى موضع القناص الحقيقي وقسمة هذه المسافة على سرعة الصوت C ، وبمجرد الانتهاء من ذلك، تمكنا من تحويل كل تقدير من تقديرات الوقت إلى فارق زمني لتقديرات الوصول استنادًا إلى نموذج $TDOA$ الذي تمت مناقشته سابقًا.

بعد ذلك، وجدنا الفرق بين قياسات $TDOA$ المقدرة لدينا في مساحة البحث وأوقات $TDOA$ المتولدة ، وقمنا بتربيع كل من هذه الاختلافات أو الأخطاء ، ثم قمنا بتلخيصها عبر قياسات $TDOA$ $m-1$.

من أجل تقليل قيم MSE التي حسبناها ، أعلننا عن الحد الأدنى لمجموع متغير الأخطاء التربيعية (SSE) $Sum of Squared Errors$ ، والذي قمنا بمقارنة كل من القيم المحسوبة به. أثناء قيامنا بالتكرار من خلال مساحة البحث ، تم حفظ كل قيمة SSE جديدة تم الوصول إليها على أصغر قيمة سابقة ، بحيث كانت القيمة النهائية المعينة للمتغير الأولي هي القيمة الحقيقية للخطأ التربيعي الأدنى على مساحة البحث بأكملها.

ثم تم تحويل كل قيمة SSE إلى قيمة MSE عن طريق القسمة على قياسات

$m-1$ $TDOA$ لطلقة واحدة. أخيرًا ، من أجل إنتاج مخطط توطين كفاف ، تم إرفاق كل قيمة MSE بنقطة الإحداثيات المرتبطة بها (x, y) حتى نتتمكن من الرجوع إليها مرة أخرى إلى موقع القنص المقدر.

5 - النتائج Results

خلال التنفيذ تم تقدير الاحتمالية القصوى على نموذج الإشارة لدينا بفحص تأثير اختلاف المعاملات المختلفة في نظامنا. وتم استخدام المعاملات التالية في إعداد النظام الأساسي لدينا:

$$m \text{ (عدد المستشعرات): } 9 \quad \sigma \text{ (ضوضاء): } 0.01$$

$$\text{مساحة البحث: } [x_A-50, y_A-50], [x_A+50, y_A+50]$$

$$\text{موقع القنص الدقيق: } (x_A, y_A)$$

اختبرنا نموذجنا على مجموعة متنوعة من ترتيبات العقد التي يحملها

الجنود المتوقعين عشوائياً أو على خط مستقيم أو على محيط دائرة ، وفحصنا أداء تحديد الموضع لإعدادات الشبكة المختلفة. وكانت النتائج متشابهة بـ 98%.
 قمنا أيضاً بفحص ثلاثة أشكال هندسية للحساسات - دائرة من المستشعرات حول القنص، وأخرى تقع على مستقيم ، وأخرى ذات ترتيب عشوائي لأجهزة الاستشعار.

ينتج عن الترتيب الدائري تحديد مكان القنص بشكل دقيق للغاية ، ومع ذلك ، فإن هذا الترتيب غير واقعي في العمليات العسكرية. يحقق الترتيب العشوائي لعقد المستشعرات تقديراً دقيقاً أيضاً ، ولكن هذا يرجع على الأرجح إلى موقع القنص المركزي في النظام. على الرغم من دقته ، إلا أنه غير واقعي إلى حد ما ، على الرغم من أن هذا الترتيب يمكن اعتباره صفيين ثابتين مركبين على جوانب المباني المقابلة. ربما يكون ترتيب عقدة المستشعر على خط مستقيم أكثر صلة بتطبيقات الواقع الحقيقي لأنه يحاكي بشكل وثيق مجموعة ثابتة من أجهزة الاستشعار ، أو حركة مجموعة من الجنود في انسجام تام.

في محاكاتها الأولية ، تم وضع المستشعرات على بعد خمسة أمتار ، مما أدى إلى أن تقديرتنا بعيد قليلاً عن الهدف. حيث أن زيادة التباعد بين المستشعرات، أدى إلى زيادة قيم $TDOA$ الفعلية ، وزاد بشكل كبير من قدرة نموذجنا على تقدير الموقع الحقيقي للقنص. وبالمثل ، أدى تقليل المسافات البينية إلى متر واحد إلى توطين غير دقيق، على الرغم من أن هذا السيناريو أكثر واقعية في القتال.

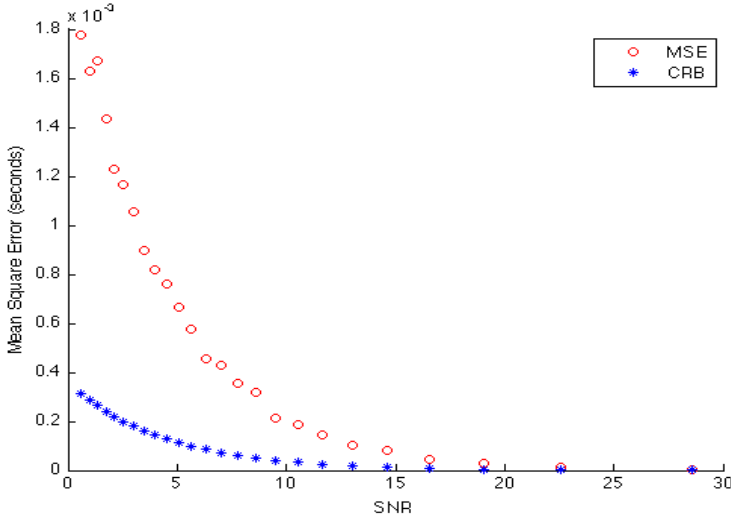
لتقييم أثر نسبة الإشارة إلى الضوضاء SNR ، اعتبرت إشارتنا هي متوسط أوقات وصول انفجار الطلقة MB على مستشعرات m . والشكل العام لـ SNR هو:

$$SNR_{dB} = 10 * \log_{10} \left[\frac{P_s}{P_N} \right] = 10 * \log_{10} \left[\frac{avg(r)/c}{\sigma^2} \right] \quad (16)$$

نظراً لأن CRB و MSE و SNR تعتمد جميعها بشكل أساسي على مستوى الضوضاء σ ، تم تغيير σ لتحديد ما إذا كانت طريقة التقدير لدينا قادرة على تحقيق الخطأ التربيعي الأمثل أو الأدنى. يمكن رؤية هذه المقارنة في الشكل (7) .

تم رسم كلاً من MSE كتابع لـ θ بالثنائي، و CRB مقابل SNR لـ 100 تجربة حيث $\sigma = 0: 0.01: 0.25$. مع انخفاض σ تزداد نسبة الإشارة إلى الضوضاء (SNR) ، ويتقارب متوسط الخطأ التربيعي مع $Cramér - Rao Bound$.

استخدمنا نظرية الكشف للتحقيق في الاختلاف بين نيران القنصاة والضوضاء واختبار الفرضيات المطبقة في دراستنا لتأكيد ما إذا كانت الإشارات المولدة ناتجة عن مطلق النار في نظام استشعار واحد ، أو مجرد ضوضاء. لتقدير هذا التمييز ، استخدمنا اختبار $Neyman-Pearson (NP)$ وهو "أفضل اختبار ممكن" لحجم محدد α [10] .



الشكل (7) تابعة MSE و CRB لـ SNR

وأخيراً يمكن تلخيص الغرض من بحثنا هو تخمين موقع القنص باستخدام شبكة من وحدات الاستشعار الصوتية، التي يمكنها اكتشاف انفجار فوهة طلاقة نارية. قمنا بمحاكاة قياسات وقت الوصول في *MATLAB* ، واستخدمنا طريقة تقدير الاحتمالية القصوى في نموذج الإشارة الخاص بنا لتحديد موضع القنص. تشير نتائجنا إلى أننا بنينا نموذجاً قوياً، والذي يمكن أن يخمن بدقة موقع القنص من خلال نماذج متنوعة في ترتيبات عقد المستشعرات المختلفة. بالإضافة إلى ذلك، أسفر تنفيذنا لاكتشاف القنص عن نتائج عالية الدقة للإشارة المولدة من طلاقة واحدة لقنص واحد وشبكة مستشعرات واحدة.

المراجع References

- 1) D. Lindgren, O. Wilsson, F. Gustafsson and H Habberstad, 2019 " shooter Localization in Wireless Sensor Networks," Information Fusion, vol. 12th, pp. 404- 411.
- 2) G.T. Whipps, L.M. Kaplan, and R. Damarla, 2015 " Analysis of sniper localization for mobile, asynchronous sensors," Signal Processing. Sensor Fusion and Target Recognition, vol. 7336, no. XVIII.
- 3) P. Bestagini, M. Compagnoni, F. Antonacci, A. arti, S. Tubaro, 2013, " TDOA- based acoustic source localization in the space- range reference frame,"Multidimensional Systems and Signal Processing, no. March .
- 4) G.L. Duckworth, D.C. Gilbert, J.E. Barger, 2019, " Acoustic counter- sniper system," Command, Control, Communications and Intelligence Systems for Law Enforcement, vol. 3938,
- 5) D.Lanning and M.Swarzenski , 2019 ,” Sniper Localization Using Acoustic Sensors”,Final Report, Brian
- 6) A.K. Tellakula, 2017 ,” Acoustic Source Localization Using Time Delay Estimation” Indian Institute of Science, 82p.
- 7) T. Bokareva, W. Hu, K. Salil, B. Ristic, N. Gordon, 2006, " Wireless Sensor Networks for Battlefield Surveillance," Land Warfare Conference (Brisbane), no.October.
- 8) Susan Holmes, " Maximum Likelihood Estimation , 2018, " (Class Notes and Useful Defintions), no. 156.
- 9) P.Volgyesi, G. Balogh, A. Nadas, Ch.B. Nash and A. Ledecz, 2021, “ Shooter Localization and Weapon Classification with Soldier-Wearable Networked Sensors”, Vanderbilt University Nashville, TN, USA.
- 10) G. Simon, M. Maróti and etc.,2017,” Sensor Network-Based Countersniper System”, Baltimore, Maryland, USA.
- 11) مواقع انترنت بالعشرات معظمها دعايات لأنظمة توطين أنظمة إطلاق النار