

مجلة جامعة البعث

سلسلة العلوم الهندسية الميكانيكية
والكهربائية والمعلوماتية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 43 . العدد 16

1442 هـ - 2021 م

الأستاذ الدكتور عبد الباسط الخطيب

رئيس جامعة البعث

المدير المسؤول عن المجلة

رئيس هيئة التحرير	أ. د. ناصر سعد الدين
رئيس التحرير	أ. د. درغام سلوم

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 : 963 31 2138071 ++

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

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

ISSN: 1022-467X

قيمة العدد الواحد : 100 ل.س داخل القطر العربي السوري

25 دولاراً أمريكياً خارج القطر العربي السوري

قيمة الاشتراك السنوي : 1000 ل.س للعموم

500 ل.س لأعضاء الهيئة التدريسية والطلاب

250 دولاراً أمريكياً خارج القطر العربي السوري

توجه الطلبات الخاصة بالاشتراك في المجلة إلى العنوان المبين أعلاه.

يرسل المبلغ المطلوب من خارج القطر بالدولارات الأمريكية بموجب شيكات

باسم جامعة البعث.

تضاف نسبة 50% إذا كان الاشتراك أكثر من نسخة.

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
30-11	لارا علي د. محسن عبود	اقتراح بنية هجينة لشبكة الاستشعار اللاسلكية وشبكة المركبات المخصصة لتحسين السلامة على الطرق
62- 31	زينب محمد د. مازن يوسف	مقارنة أداء وفعالية خوارزميات التوجيه في الشبكات ضمن رقافة (NoC)
90-63	سمر خريزاتي كريمة سكر أحمد شرم	دراسة وتصميم نموذج مصغر لجهاز محاكاة الاشعاع الشمسي وتحليل أدائه
130-91	علي الحسين نبيل لدوح عيد العبود	تقليل عدد نطاقات الصور الطيفية باستخدام خوارزمية تحليل المكونات الرئيسية وتطبيقه في التعرف على الوجوه
162-131	منال العمر د. محسن عبود	تقييم ومقارنة أداء التحسينات على خوارزمية التقطير في انترنت الأشياء

اقتراح بنية هجينة لشبكة الاستشعار اللاسلكية وشبكة المركبات المخصصة لتحسين السلامة على الطرق

طالبة الماجستير: لارا علي كلية الهندسة المعلوماتية - جامعة البعث
اشراف الدكتور: محسن عبود

الملخص:

مع تطور التكنولوجيا و الاتصالات اللاسلكية ظهرت انظمة النقل الذكية ITS، التي تهدف الى تحسين امن الطرق، و جعل الرحلة اكثر راحة و فعالية. قدمت ITS شبكات VANET لإنشاء بنية تحتية أكثر أماناً للنقل البري. من خلال اكتشاف الاحداث الخطرة على الطرق و نشرها للمركبات الاخرى، ولكن VANET تعاني من عدة مشاكل، لذلك لحل مشكلات VANET و تحسين امن الطرق، تقترح هذه الورقة البحثية دمج شبكات المستشعرات اللاسلكية WSN مع VANET، وبالتالي الحصول على شبكة HSVN بحيث تقوم عقد المستشعرات sensors بتحسس ظروف الطريق و توليد رسائل تحذير و نقلها للمركبات المارة مما يضمن للسائقين اتخاذ القرار المناسب قبل الوصول لموقع الخطر.

تم تحقيق البنية من خلال المحاكى NS2.35 و تم تقييمها، حيث بينت النتائج ان البنية المقترحة تؤدي لتحسين أمن الطرق و تقليل الحوادث.

الكلمات المفتاحية: حوادث الطرق ، أنظمة النقل الذكية ITS، شبكات VANET، شبكة WSN، شبكة HSVN، المحاكى NS2

Proposing a hybrid architecture of the wireless sensor network and the Vehicular Ad Hoc Network to improving road safety

abstract:

With the development of technology and wireless communications, ITS systems have emerged that aim to improving road safety, and make the trip more comfortable and effective. ITS provided VANET networks to create a safer infrastructure for land transport. By detecting hazardous events on the roads and spreading them to other vehicles, but VANET suffers from several problems, so to solve VANET problems and improve road safety, this article suggests integrating WSN with VANET and thus obtaining a HSVN network so that the sensors nodes sense the road conditions and generate warning messages and then transfer them to the passing vehicles, ensuring that drivers make the appropriate decision before reaching the danger site. proposed architecture was achieved through the NS2.35 simulator, and was evaluated, the results indicated that this architecture leads to improving road safety and reducing accidents.

Key words: Road Accidents, ITS Intelligent Transportation Systems, VANET Networks, WSN, HSVN, NS2 Simulator

1. المقدمة:

حسب تقرير منظمة الصحة العالمية الذي تم نشره في السابع من شهر شباط لعام 2020، فإن عدد الوفيات الناتجة عن حوادث المرور يساوي 1.25 مليون شخص، و يتعرض ما بين 20 مليون و 50 مليون شخص آخر لإصابات غير مميتة، ويصاب العديد منهم بالعجز نتيجة لذلك. كذلك يموت كل عام 260 ألف طفل على الطريق، ويصاب مليون آخرون بجروح خطيرة؛ حيث تتسبب الإصابات الناجمة عن حوادث المرور في خسائر اقتصادية كبيرة للأفراد وأسرههم وللدول بأسرها. [1]

التطور التكنولوجي و الأبحاث الكثيرة في هذا المجال ادت لنشوء أنظمة النقل الذكية (Intelligent Transportation Systems) ITS ، و هي التطبيقات المتعلقة بأنظمة النقل التي تهدف لحل مشاكل أنظمة النقل. بشكل عام، تحاول أنظمة النقل الذكية تحسين أنظمة النقل البري، و ذلك من خلال تطبيق التقنيات الناشئة مثل الشبكات اللاسلكية و شبكات الاستشعار والشبكات الخلوية في البنية التحتية لنظام النقل، وفي المركبات نفسها. تعد شبكة المركبات المخصصة VANET (Vehicular Ad Hoc Network) أحد أهم مكونات أنظمة النقل الذكية. [2]

شبكة VANET لا تمنع وقوع الحوادث في حال الكثافة المنخفضة، لذلك كان الحل البديل هو شبكات (Hybrid Sensor and Vehicular Network) HSVN التي هي دمج شبكة VANET مع شبكة (Wireless Sensor Network) WSN .

2. أهداف البحث:

الهدف الرئيسي هو تحقيق شبكة HSVN من خلال كتابة الترميز المصدري الذي يحاكي عملها، و اضافته الى المحاكي NS2، ومن ثم يتم التحقق منها من خلال مقارنتها مع شبكة VANET التقليدية، بعد ذلك سيتم التحسين على البنية المقترحة من خلال اضافة عقدة استشعار لاسلكية متنقلة و تقييم ادائها في حال وجود فشل.

3. شبكات VANET:

تعد احد انواع شبكة (MANET (Mobile Ad-hoc Network ، حيث تكون عقد شبكة VANET هي المركبات التي تتحرك على شبكة الطرق، بالإضافة لوحداث موزعة على جانب الطريق تسمى (RSU (Road Side Unit التي تمثل البنية التحتية للطرق. كل من المركبات و وحدات RSU مزودة بجهاز اتصال لاسلكي، و بالتالي VANET تدعم نوعين من الاتصالات (V2V (vehicle to vehicle هي الاتصالات بين المركبات، و (V2I (vehicle to infrastructure هي الاتصالات بين المركبات و RSU. [2-3]

VANET تمنع من حوادث الطرق في بعض الاحيان، ولكنها تعاني من العديد من التحديات و المشاكل، حيث انها لا توفر اكتشاف مضمون في الوقت الحقيقي لظروف الطريق، هذا يعني انه فقط عند وجود مركبة، او RSU، تكتشف او يتم اخبارها بظروف الطريق يتم نشر المعلومات داخل VANET.

المشكلة الثانية في VANET انها تعاني من انقطاعات متعددة بالاتصال بسبب التنقلية العالية. [4]

لحل المشكلات السابقة يمكن نشر وحدات RSU على الطريق، بحيث انها تؤمن تغطية كاملة للطريق، و لكن هذا الحل مكلف جداً. لذلك الحل البديل الذي اقترحه هو شبكات WSN التي تؤدي عمل مشابه لعمل RSU ولكن بتكلفة منخفضة. يتم دمج VANET مع WSN بحيث يتم تشكيل شبكة هجينة HSVN.

1.3 شبكة Wireless Sensor Network (WSN):

تتكون من عدد كبير من عقد المستشعرات (sensors)، التي لها قدرات استشعار وحوسبة ويتم توزيعها لرصد الظروف الفيزيائية و البيئية. حيث تجمع معلومات عن

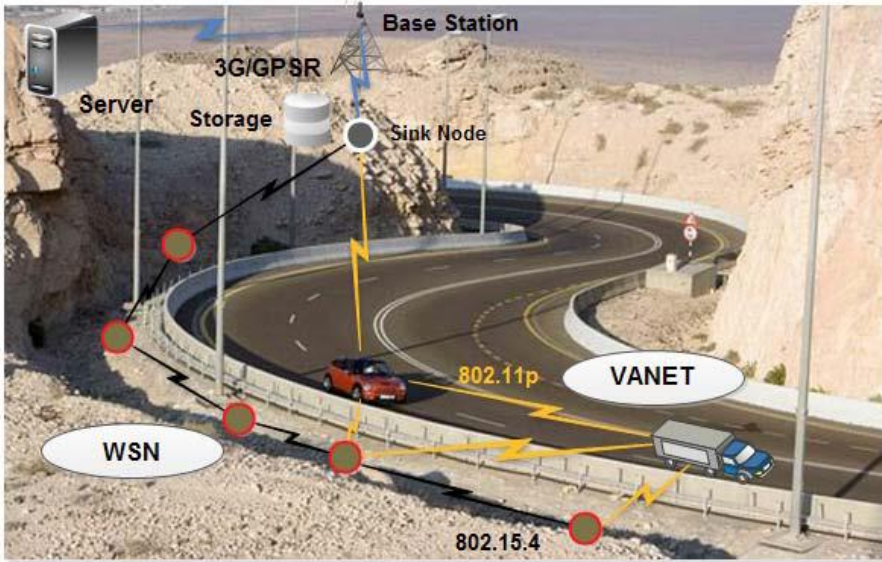
البيئة المحيطة و تقوم بتخزينها او ارسالها لعقد اخرى ليتم معالجتها. تعاني هذه الشبكات من قيود بالطاقة و المعالجة و التخزين. [5]

4. شبكة (HSVN) Hybrid Sensor and Vehicular Network:

تتمثل في جعل WSNs و VANETs تعملان بشكل مشترك، لتشكيل إطار اتصال تستخدمه المركبات من أجل مساعدة السائقين على تقليل حوادث الطرق والوفيات والإصابات، وبالتالي تحقيق تطبيقات سلامة القيادة التي تعد احد الاهداف الاساسية لشبكات VANET. توفر HSVN اكتشاف لحظي لظروف الطريق، و تساهم في جعل شبكة VANET متصلة بشكل كامل. [4]

1.4 البنية الاساسية لشبكة HSVN:

الشكل (1) يوضح البنية الاساسية لشبكة HSVN، حيث تتكون من عقد المركبات التي تشكل شبكة VANET، و عقد الاستشعار التي تمثل شبكة WSN، و المحطة الاساسية، و الخادم.



الشكل 1 البنية الاساسية لشبكات HSVN [6]

عقد المركبات تتحرك على الطريق، و تتصل مع بعضها باستخدام اتصالات V2V، و تتصل مع عقد WSN التي تقسم الى نوعين: source node تقوم بتحسس ظروف الطريق، وتنقلها الى sink node (وهي النوع الثاني من عقد WSN) وهي عقد اكثر قوة (من حيث المعالجة و الطاقة و التخزين) من عقد source.

تقوم عقد sink بعدة مهام وهي:

- تخزين الرسائل التي تصلها من source node .
 - تقوم بالاتصال بعقد المركبات و تخبرهم بظروف الطريق .
 - تقوم بالاتصال مع المحطة الاساسية ليتم اىصال المعلومات الى الخادم.
- يتم استخدام المحطة الأساسية لجمع البيانات من أجهزة الاستشعار ومن المركبات. يتم استخدام الخادم أو مركز البيانات لجمع وتخزين جميع المعلومات المرورية والبيئية من خلال المحطة الأساسية. يمكن استخدام هذه المعلومات والبيانات لإدارة حركة المرور او تطبيقات السلامة وغيرها. [6]

2.4 بروتوكولات الاتصال المستخدمة في HSVN:

كما ذكرت سابقاً، فان هذه الشبكات مكونة من VANET و WSN ، لذلك يجب ايجاد بروتوكول اتصال مناسب لكي يتم الاتصال بينهما. بروتوكول ZigBee (IEEE 802.15.4) يملك معدل بيانات منخفض و تكلفة منخفضة و يستخدم الطاقة بفاعلية، وهو متكيف و مناسب لشبكات WSN، لذلك سيكون هو بروتوكول الاتصال بين VANET و WSN. بالنسبة لاتصال المركبات مع بعضها تم تطوير بروتوكول IEEE 802.11p، وتم اعتماده بنهاية 2010 لاتصالات V2V و V2I. وبالتالي كل عقدة WSN ستملك واجهة IEEE 802.15.4، وكل مركبة ستملك

واجهتي اتصال الاولى هي IEEE 802.15.4 للاتصال مع WSN، والثانية IEEE 802.11p للاتصال مع المركبات الاخرى.

5. الدراسات المرجعية:

للتخفيض من كلفة تطبيقات VANET مع تحقيق نفس الهدف، اقترح العديد من الباحثين استخدام شبكة WSN مع شبكة VANET فيما يلي بعض الدراسات التي تناولت بنية هذه الشبكات و تطبيقاتها.

اقترح (Qureshi et al.) في [6] بنية هجينة لشبكات VANET و WSN لتحسين انظمة التنقل في المناطق الجبلية. البنية المقترحة تتبادل معلومات الطريق و رسائل التنبيه للمساعدة في اتخاذ قرارات التنقل، كذلك تعالج الازدحام المروري ، ونقل من الحوادث حيث تقوم المركبات بدمج المعلومات التي يتم تبادلها مع عقد WSN مع الخرائط الرقمية و بالتالي يسهل حساب السرعة و الموقع و الاتجاه للمركبات الجيران. تم تقييم اداء الشبكة من حيث الانتاجية و التأخير بوجود WSN و عدم وجودها، و تبين ان وجود WSN يحسن اداء الشبكة بشكل كبير.

في [7] اقترح (Hua Qin et al.) بنية هرمية تجمع بين VANET و WSN. تم تقسيم كل من عقد الاستشعار والمركبات إلى مجموعات، حيث تتم إدارة كل مجموعة بواسطة رئيس الكتلة CH. عندما عقدة الاستشعار تكتشف حدث على الطريق ترسل معلومات عنه الى CH (والذي يسمى WSN Gateway) المسؤول عنها، و يكون مسؤول عن تجميع هذه المعلومات وإعادة توجيهها إلى المركبات / وحدات RSU في نطاق الإرسال الخاص به.

نتائج المحاكاة اظهرت انه في ساعات الذروة (الكثافة العالية) تكون VANET متصلة، و بالتالي نشر الرسائل يتم من خلال VANET بدلاً من WSN كذلك تستهلك عقد

WSN طاقة اقل. في حالة الكثافة المنخفضة تقوم WSN بنشر الرسائل للمركبات، و بالتالي تستهلك عقد WSN طاقة اكبر.

اقترح الباحثون (Djahel and Ghamri-Doudane) في [8] إطار عمل HSVN لضمان النقل الفعال للمعلومات المكتشفة المتعلقة بالأحداث الخطرة على الطريق تجاه المركبات المارة. يأخذ هذا المخطط في الاعتبار انخفاض بطارية عقد الاستشعار وبالتالي، تم إنشاء آلية جدولية لتبديل حالة عُقد المستشعر بين السكون والنشاط.

صمم (Tacconi et al) في [9] بنية تسمح للمركبات باستعلام عن معلومات معينة من خلال شبكة WSN، التي تكون مؤلفة من نوعين من العقد: الاول هي sensor node التي تتحسس المنطقة المحيطة بها و تجمع معلومات عنها، و الثاني هي عقد vice node التي تتصل بالمركبات و تخبرهم بنتيجة الاستعلام. تقوم المركبة بإرسال استعلام لعقدة vice-sink، يحوي الاستعلام على إحداثيات المنطقة المستهدفة (التي تريد المركبة الاستعلام عنها target area) مع نصف قطرها، تقوم vice-sink بتوجيه الاستعلام الى عقد sensors حتى تحصل على الرد الذي يتم توجيهه نحو vice-sink أخرى باستخدام التوجيه الجغرافي حيث تم تحسين التوجيه الجغرافي التقليدي بحيث يتم تحديد عقدة القفزة التالية على أساس المسافة النسبية للمركبة ومستوى الطاقة المتبقية.

هذه البنية مناسبة من اجل بعض البيانات مثل الاستعلام عن اماكن وقوف السيارات.

6. شرح البنية المحققة:

توليد المركبات و نموذج التنقل الخاص بهم سيتم من خلال الاداة SUMO (Simulation of Urban Mobility). لتقليل عدد الاتصالات بين المركبات و WSN sink تم تجميع المركبات ضمن clusters، و بالتالي عبء أقل على WSN sink،

حيث ان WSN sink ترسل رسالة التحذير الى (cluster head) CH، بعد ذلك يقوم CH بإرسال التحذير الى المركبات الاعضاء. فيما يلي سيتم شرح خوارزمية التجميع المستخدمة و نموذج نشر WSN.

1.6 خوارزمية التجميع المقترحة:

تم تجميع العقد ضمن clusters بحيث تكون اعضاء cluster تبعد قفزة واحدة عن CH.

1.1.6 خطوات الخوارزمية:

في البداية يكون clusterID لكل العقد هو 1-.

تقوم العقدة بإرسال csvn_hello لجيرانها (broadcast) بشكل دوري كل 1 ثانية و تنتظر استلام csvn_cluster_status ، هنا لدينا حالتين:

- اذا استلمت العقدة رسالة csvn_cluster_status ترسل csvn_join_request و تنتظر استلام csvn_join_reply .
- اذا لم تستلم رسالة csvn_cluster_status خلال 3 ثواني، عندها تُعلن نفسها انها CH و ترسل csvn_cluster_status .

العقدة التي تكون CH ترسل csvn_cluster_status بشكل دوري كل 1 ثانية و تنتظر استلام طلبات الانضمام csvn_join_request .

عندما CH يستلم csvn_join_request يفحص المتحول degree الذي يمثل عدد اعضاءه :

- اذا degree اصغر من الحد الاعظمي، يتم حساب فرق السرعة بين CH و العقدة المرسله لطلب الانضمام، اذا الفرق ضمن مجال محدد يتم ارسال csvn_join_reply مع الموافقة على قبول العقدة، غير ذلك يتم ارسال csvn_join_reply مع رفض العقدة.

2.1.6 الية نشر البيانات:

البيانات التي سيتم نشرها هي عبارة عن رسائل تحذير warning message ، هذه الرسائل سيتم توليدها من عقد sensor وستقوم المركبات بنشرها. يستقبل CH رسالة التحذير من WSN sink المسجل لديه (سيتم شرح الية التسجيل في فقرة نموذج نشر WSN)، ثم يقوم CH بنشر الرسالة الى جميع اعضاء الموجودين ضمن member table. العقدة التي تكون Gateway node تقوم بإرسال البيانات الى كل CH التي تستطيع الوصول لهم. و تتكرر العملية حتى نصل لـ cluster لا يحوي Gateway، و بالتالي لا يستطيع الوصول لكنتل اخرى و عندها يتوقف النشر.

2.6 نموذج نشر WSN:

بعد انشاء عقد المركبات و تجميعهم ضمن clusters، سيتم الان توزيع عقد الحساسات على الطريق الذي طوله 4km. تم تقسيم الطريق الى 4 segments ، في كل segment يوجد عقدة sink واحدة و عشر عقد sensor .

1.2.6 الية التوزيع:

- كل sink يبعد عن بداية segment مسافة 50m ، و مجال تغطيتها هو 250m و مجال تحسسها هو 250m.
- المسافة بين عقدة sink وعقدة sensor التي تليها هو 90m كذلك المسافة بين عقد sensors ضمن نفس القطاع هو 90m .
- المسافة بين اخر عقدة sensor و عقدة sink في بداية القطاع التالي هو 100m.

- مجال تغطية عقد sensor هو 100m و كذلك مجال التحسس هو 100m.

2.2.6 تحسين النموذج السابق:

لتحسن النموذج السابق سيتم اضافة mobile sink يقع في نهاية القطاع، و يتحرك بشكل دوري نحو بداية القطاع، حيث يتم تبادل رسائل التحذير مع sink، يوجد هدفين من استخدام mobile sink:

- في حال فشل احد عقد sensor ضمن القطاع: و بالتالي اذا حصل اي خطر على الطريق حيث موقع الخطر بعد هذا sensor ، عندها لن يتم اىصال رسالة التحذير الى العقدة sink ، حيث فشل العقدة ادى الى قطع مسار الاتصال بين العقدة المولدة للتحذير و عقدة sink.

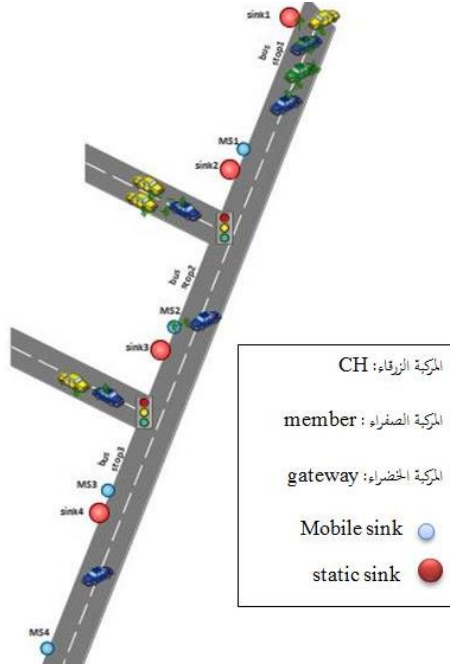
- في حال وجود طرق فرعية ضمن القطاع، المركبات القادمة من الطرق الفرعية قد لا تتمكن من الاتصال مع sink الموجود في بداية القطاع، و بالتالي لن تحصل على اى رسائل تحذير، و بالتالي وجود mobile sink سيساعد في حصول هذه المركبات على رسائل التحذير.

Mobile sink لها نفس وظائف static sink بالإضافة لإمكانية التنقل المستمر. عقد sensor تنقل رسائل التحذير بالاتجاهين الى static sink و mobile sink.

3.6 الية الاتصال بين CH في VANET مع sink في WSN:

تقوم عقد sink (الثابتة و المتحركة) بنشر رسائل beacon بشكل دوري (كل 1 ثانية) لتعلن عن وجودها. المركبات التي تتحرك على الطريق تستلم رسائل beacon عندها فقط المركبات التي تكون CH ترسل رسالة تسجيل registration

message ، عندما تصل رسالة التسجيل تقوم العقدة sink بإضافة المركبة الى جدول vehicle table وترسل لهذه المركبة رسالة تحذير لكل الاحداث التي لديها. في كل مرة تستلم sink رسالة تحذير جديدة تقوم بنشرها الى كل المركبات المسجلة لديها. الشكل (2) يوضح بنية HSVN المقترحة.



الشكل 2 بنية HSVN المقترحة

7. التجارب:

تم اجراء اربع تجارب و دراسة عدد الرسائل التي تم تسليمها للمركبات بنجاح و عدد الرسائل التي فشل تسليمها للمركبات ، التجارب التي تم تنفيذها هي:

- pure VANET: اي لا يوجد شبكة WSN . فقط عقد المركبات و اتصالات V2V، هنا المركبات هي التي تكتشف الاحداث و تولد رسائل تحذير وتنتشرها للمركبات المجاورة من خلال اتصال V2V.

- HSVN: هي البنية المقترحة.
- HSVN with failure: شبكة HSVN مع وجود فشل بعقدة sensor1 (اول عقدة بعد sink) في القطاع 3، هنا رسائل التحذير المكتشفة ضمن القطاع الثالث لن تصل الى sink3.
- HSVN with failure with mobile sink: مثل الحالة السابقة، لكن مع يوجد MS (mobile sink) واحد بكل قطاع، في هذه الحالة يقوم MS بمهمة اقبال التحذيرات الى sink، اي هي البنية المحسنة.

تم اجراء التجارب السابقة من اجل عدد المركبات 30 و 100 اي كثافة منخفضة و كثافة متوسطة. كل 200 وحدة زمنية يتم توليد حدث واحد في قطاع محدد، مدة المحاكاة 1600 ، في كل قطاع يتم توليد حدثين. يتم تخزين الحدث في العقدة sink لمدة 500s بعد ذلك يتم حذف الحدث، حيث يتم اعتبار ان الحدث (الخطر) لم يعد موجود على الطريق.

8. النتائج:

قبل عرض النتائج، يجب معرفة انه في حالة pure VANET العقدة المكتشفة للحدث اذا كانت ضمن cluster يتم نشر التحذير للأعضاء. المركبات لا تخزن رسائل التحذير و بالتالي نشر التحذيرات يكون للمركبات الموجودة ضمن نطاق اتصالها في لحظة اكتشاف الحدث.

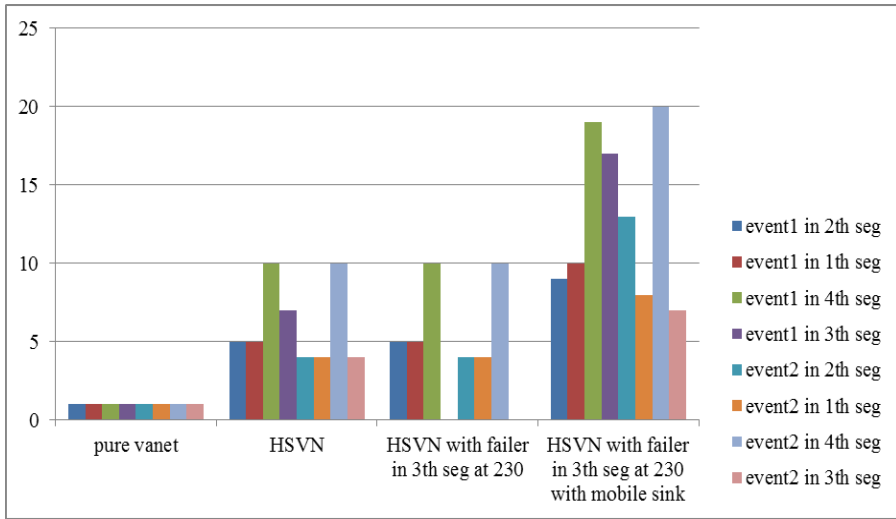
في التجارب الثلاث الباقية، رسائل التحذير تُخزن ضمن sink و ترسل لكل مركبات CH التي تمر بجانب sink، لذلك يكون عدد الرسائل المستلمة اكبر.

1.8 المقياس الاول :

عدد رسائل التحذير المستلمة في VANET: هو عدد المركبات التي استلمت من

sink او من mobile sink، ثم قامت هذه المركبات بنشر التحذير الذي استلمته للمركبات الاعضاء.

عدد المركبات 30: في هذه الحالة لا يتم تجميع المركبات حيث المركبات تكون متباعدة و بالتالي خارج نطاق اتصال المركبات الاخرى، هنا كل مركبة تُعلن نفسها CH و لكن دون اعضاء.

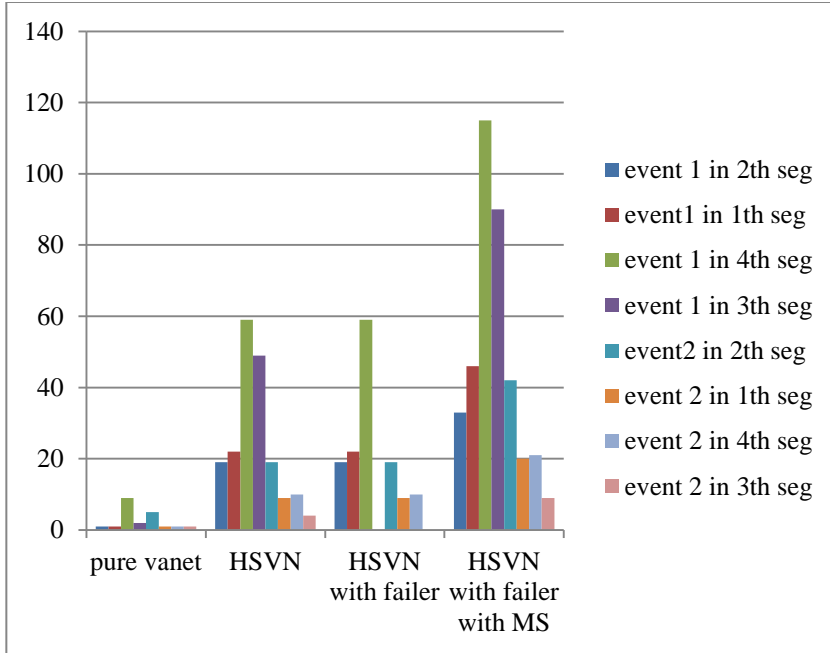


المخطط 1 عدد الرسائل المستلمة في حالة 30 مركبة

نلاحظ من المخطط السابق انه في حال الكثافة المنخفضة ، تكون WSN هي المسؤولة بشكل كامل عن اوصول رسائل التحذير للمركبات.

من اجل 100 مركبة:

يتم تجميع المركبات و لكن عدد الاعضاء cluster سيكون صغير .



المخطط 2 عدد الرسائل المستلمة في حالة 100 مركبة

في حالة 100 مركبة ، دائماً عدد الاتصالات بين CH و sink او بين CH و MS اكبر بكثير من عدد اتصالات V2V بين المركبات، و هذا لان عدد اعضاء cluster صغير .

2.8 المقاييس الثاني:

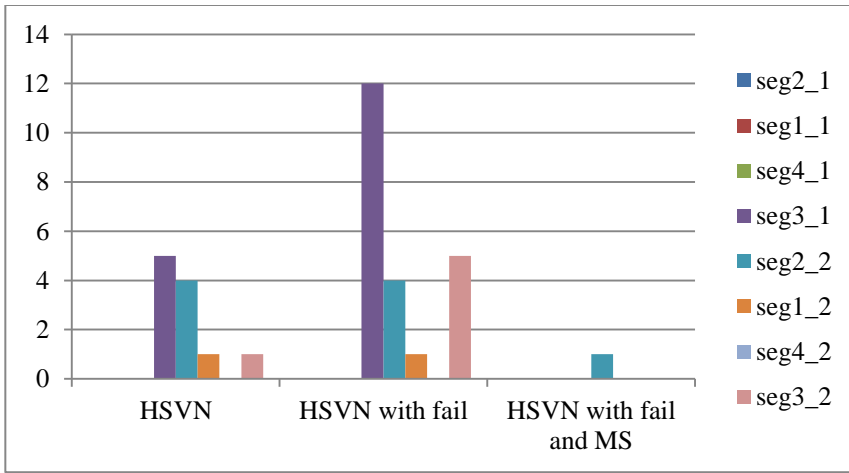
عدد رسائل التحذير التي فشل تسليمها: عدد المركبات التي كان يجب ان تستلم رسائل التحذير و لكنها لم تستلمها.

عندما لا تتمكن المركبة من استلام التحذير يكون يوجد احد الحالات التالية:

- اما ان تكون قادمة من طريق فرعي و لا يوجد MS.
- او ان تكون قادمة من طريق فرعي و يوجد MS و لكن لم تتمكن من الاتصال معه.

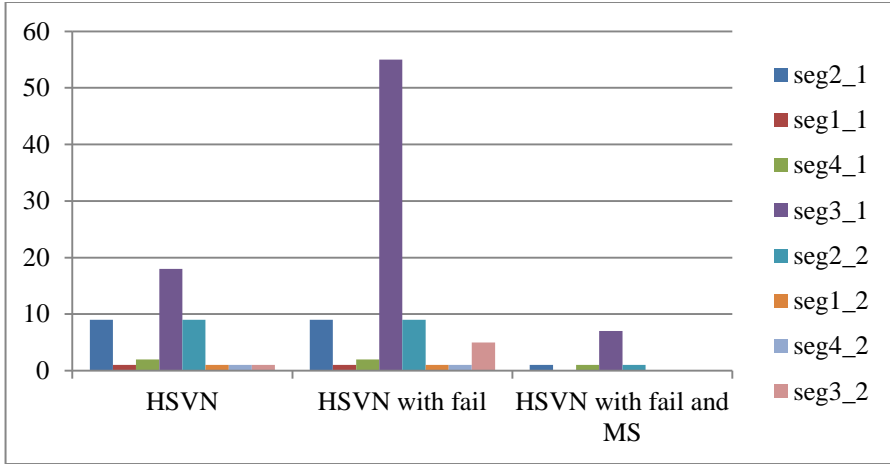
- او عندما تم توليد التحذير كانت المركبة ضمن القطاع و لكن خارج نطاق sink و لا يوجد MS ، و في حال وجود MS قد لا تتمكن من الاتصال معه.
- عدم تمكن المركبة من الاتصال بالعقدة sink او MS بسبب خطأ بالوصلة اللاسلكية او امتلاء الرتل .

عدد المركبات 30:



المخطط 3 عدد الرسائل التي فشل تسليمها في حالة 30 مركبة

عدد المركبات 100:



المخطط 4 الرسائل التي فشل تسليمها في حالة 100 مركبة

من المخططات السابقة، نستنتج ان HSVN المقترحة حسنت الاداء مقارنةً مع pure VANET، و لكن المركبات القادمة من الطرق الفرعية لم تحصل على اي تحذيرات، كذلك وجود فشل في القطاع الثالث ادى لعدم تمكن sink3 من الحصول على التحذيرات و بالتالي لم يتم نشرها للمركبات. البنية المحسنة من خلال MS أدت لتسليم الرسائل لمعظم المركبات، وبالتالي حسنت الاداء بشكل كبير.

9. الخاتمة و التطلعات المستقبلية:

في هذه الورقة البحثية، تم تقديم بنية HSVN التي تقوم بدمج شبكة VANET مع شبكة WSN، و ذلك لتحقيق تطبيقات سلامة القيادة بحيث يصبح الطريق أكثر أماناً. تم اقتراح خوارزمية لتجميع المركبات ضمن clusters و اقتراح نموذج لنشر عقد WSN. نتائج المحاكاة بينت تفوق HSVN على شبكات VANET من حيث توصيل الرسائل للمركبات، كذلك تم تحسين البنية من خلال اضافة mobile sink الذي يقوم بنقل التحذيرات الى sink في حال وجود فشل في احد عقد WSN، و النتائج بينت فعالية هذه الطريقة في حالة الفشل.

حالياً نتطلع لدراسة الشبكة مع عدد اكبر من المركبات اي عندما تكون الكثافة عالية، بالإضافة لنشر التحذيرات بين القطاعات بدل ان تكون محصورة ضمن القطاع نفسه، و اضافة static sink عند تقاطع الطريق الفرعي مع الرئيسي، هكذا نضمن وصول التحذيرات لكل المركبات القادمة من الطرق الفرعية حتى عندما لا يوجد MS، و اضافة آلية جديدة للمركبات تسمح لهم بتخزين رسائل التحذير ليتم اعادة نشرها للأعضاء الجدد.

10. المراجع:

1. <https://www.who.int/ar/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>.
2. Guerrero-Ibáñez, J.A and Flores-Cortés, C and Zeadally, S 2013 – Next Generation Wireless Technology 4G and Beyond, chapter 5. Springer, London, 295p.
3. ABBASI, A and Khan, A 2018 A Review of Vehicle to Vehicle Communication Protocols for VANETs in the Urban Environment, *Future Internet*, p.15
4. Singh, P and Ashthana, A and Pandey, M 2013 A HYBRID VANET-WSN SYSTEM FOR DRIVING SAFETY USING EFFICIENT COMMUNICATION PROTOCOL, *International Journal Of Advance Research In Science And Engineering*, Vol.2 No.5, p. 13.
5. W. Dargie and C. Poellabauer, 2010– Fundamentals of Wireless Sensor Networks: Theory and Practice. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK, 330p.
6. Qureshi, K. N. and Abdullah, A. H. and Anwar ,R. W 2014 Wireless Sensor Based Hybrid Architecture for Vehicular Ad hoc Networks, *TELKOMNIKA*, vol. 12, no. 4, p. 942.
7. Qin, H and Wang, Y and LI, Z and LU, X and ZHANG, W and WANG,G 2010 An Integrated Network of Roadside Sensors and Vehicles for Driving Safety: Concept, Design and Experiments, *IEEE*

International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom), pp. 79–87.

8. Djahel, S and Ghamri–Doudane, Y 2012 A Framework for Efficient Communication in Hybrid Sensor and Vehicular Networks, *IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC)*, pp. 209–14.
9. Tacconi, D and Miorandi, D and Carreras,L and Chiti,F and V, R 2010 Using Wireless Sensor Networks to Support Intelligent Transportation Systems, *Ad Hoc Networks*, vol. 8, no. 5, pp. 462–73.

مقارنة أداء وفعالية خوارزميات التوجيه في الشبكات ضمن رقاقة (NoC).

الطالبة المهندسة: زينب محمد
إشراف الدكتور: مازن يوسف
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - قسم الهندسة الالكترونية والاتصالات - جامعة البعث

الملخص

ان الشبكة ضمن رقاقة Network on Chip (NoC) هي عبارة عن نموذج تم تطويره لإرسال مختلف أنواع الإشارات في الأنظمة ضمن رقاقة System on Chip (SoC). ومن خلال التطور الكبير في مجال صناعة الدارات المتكاملة (Integrated Circuits (IC)) كانت هناك محاولات لإنجاز أكبر كم من الشبكات على الرقائق وذلك للوصول إلى رقائق مثالية مع فعالية مرتفعة. ومن أجل تعزيز هذه الفعالية في هذا النوع من الأنظمة لابد من استخدام خوارزميات توجيه ذات صفات جيدة. بشكل عام يجب أن تحقق الـ NoC بعض متطلبات تحسين الأداء مثل زمن الاستجابة القصير (Low Latency)، الإنتاجية العالية و الاستهلاك المنخفض للطاقة في الشبكة.

هذه المقالة تقارن أداء مختلف خوارزميات التوجيه المستخدمة في NoC، حيث تم اختيار خوارزميات توجيه محددة (Deterministic) كخوارزمية XY، بالإضافة لخوارزميات توجيه جزئية التكيف كتلك القائمة على الـ (Turn Model) وهي السالب أولاً (Negative First)، الشمال أخيراً (North Last)، الغرب أولاً (West First)، وخوارزمية التوجيه المتكيفة (Adaptive) ومنها خوارزميات الـ Odd-Even، DyAD و DyXY. تم اختيار هذه الخوارزميات لأنها تتميز بخلوها من الجمود (Deadlock).

الكلمات المفتاحية:

شبكة على رقاقة NoC، التوجيه، خوارزمية XY، خوارزمية OD، خوارزمية DyAD، خوارزمية التوجيه Negative First، خوارزمية التوجيه West First، خوارزمية التوجيه

(North Last)، خوارزمية التوجيه DyXY، (Turn Model)، مقاييس الأداء P،
الاستجابة، الإنتاجية، استهلاك الطاقة، نيرغام NIRGAM.

Comparison The Performance And Efficiency Of Routing Algorithms In Network On Chip.

Eng: Zeinab Mohamad

Dr: Mazen Yousef

Department Of Electronic And Telecommunication Engineering
Faculty Of Mechanic And Electricity Engineering – Albaath University

Abstract

Network on Chip (NoC) is a new paradigm to make the interconnections inside a System on Chip (SoC). By the developments achieved in integrated circuits (IC) manufacturing there have been attempts to design vast amounts of network on the chips in order to achieve more efficient and optimized chips. A better routing algorithm can enhance the performance of NoC. Every NoC should satisfy some performance requirements like low latency, high throughput and low network power.

This article compares the performance of the various routing algorithms in NoC, where chosen deterministic routing algorithm, The XY routing algorithm was chosen due to its wide use and ease of implementation, and partial adaptive algorithms such as those based on turn model (Negative First, West First, North Last), In addition to adaptive routing algorithms like OE, DyAD and DyXY. all of these routing algorithms had deadlock-free ability.

Keywords

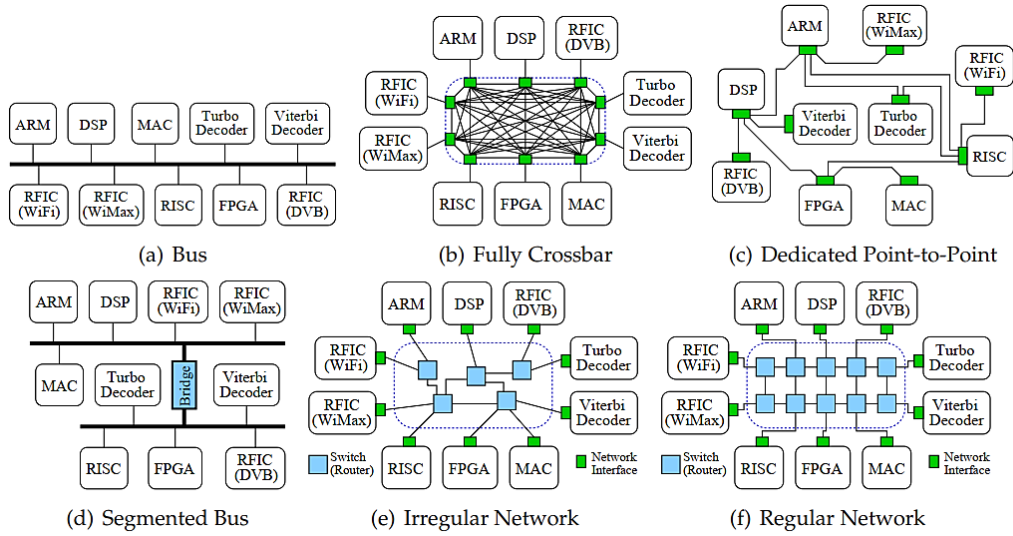
Network on Chip, Router, XY routing algorithm, OE routing algorithm, DyAD routing algorithm, Negative First routing algorithm, West First routing algorithm, North Last routing algorithm, DyXY routing algorithm, Performance metrics, Turn Model, NIRGAM.

1- المقدمة:

يواكب التطور المستمر للرقاقات (الشرائح) الصغيرة (Microchip) خاصة تناقص حجم عناصر المعالجة الالكترونية بحيث يتوقع تضاعف عدد العناصر على الشريحة الواحدة بمعدل مرة في كل سنتين. وبالرغم من استمرار هذا التطور، إلا أن التقدم على مستوى النظام يسير في خطوات، حيث تُحدد النقلة النوعية عند تبلور الافكار والاقتراحات. ومن هنا ظهر مفهوم الـ SoC، الذي فتح مجالاً واسعاً للتطبيقات ولإستخدام المعالجة المتوازية واسعة النطاق والعمليات المترابطة بإحكام، ولتبي بعضاً من متطلبات الزمن الحقيقي [1].

وبشكل عام يتألف الـ SoC من بعض عناصر المعالجة (Intellectual Properties (IPs))، وبعض الذاكر (Memories) ووحدات دخل و خرج I/O. وخلال السنوات الماضية زادت وتيرة العمل لأنظمة SoC من أجل تحسين أداء هذا النظام حيث انتقل نموذج بنية SoC من عنصر معالجة واحد إلى عناصر معالجة متعددة و هو ما يسمى بنظام SoC متعدد المعالجات (multiprocessor SoC (MPSoC) [2].

ولأن مشاكل الاتصال بين مختلف المكونات تؤثر بشكل أساسي على أداء الرقاقة كذلك على الطاقة المستهلكة، فقد أصبح العمل على تطوير تقنية الاتصال البيني للشريحة ذو أهمية كبيرة بالنسبة للباحثين ومصممي البرمجيات [3]. فكان اختيار الـ NoC لأنه يعتبر النموذج الأفضل عندما يكون عدد النوى أكثر من عشرة. وبالتالي فإن بنية الاتصالات المتطورة باتت ضرورة ملحة لتبادل المعلومات داخل الرقاقة بدلاً عن البنى التقليدية الموضحة بالشكل (1). حيث تعتبر المشكلة الأساسية لاستخدام الناقل Bus ما تعرف بعنق الزجاجة (bottleneck) بسبب محدودية النطاق الترددي. واستخدام نظام التوصيل (Full Crossbar) أدى لتداخل كهرومغناطيسي عالٍ ومشاكل في سعة التوصيل وذلك بسبب هيمنة الأسلاك المعدنية. أما مشكلة الناقل المخصص من نقطة لنقطة (dedicated point-to-point) فكانت ضعف المرونة [1]. يعتبر الـ NoC هو الحل الأمثل لكل هذه المشاكل والمتطلبات. يظهر في الشكل (1) (F) و (1) (E) بنى طوبولوجيات NoC منتظمة وغير منتظمة على الترتيب.



الشكل (1): البنية التحتية للاتصالات البينية في SOC.

2- هدف البحث:

يهدف البحث إلى التعريف بمفهوم الـ NoC و خوارزميات التوجيه المختلفة والأكثر استخداماً، مثل DyXY, XY, OE, NF, WF, NL, DyAD، حيث تتميز هذه الخوارزميات باشتراكها بخاصية خلوها من الجمود (Deadlock free). كما قمنا بإجراء مقارنة بين مختلف الخوارزميات المذكورة من أجل تقييم أداء وفعالية استخدامها في مختلف الأنظمة.

3- مواد وطرق البحث:

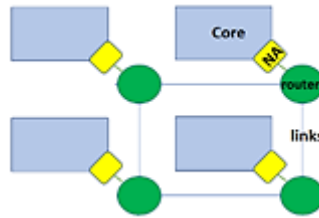
تم تنفيذ المحاكاة باستخدام برنامج NIRGAM version 2.1 وهو وحدة محاكاة مميزة و دقيقة تستهدف الأبحاث المتعلقة بالـ NoC وخوارزميات التوجيه وتطبيقاتها. تم إجراء المحاكاة على شبكة 2D-mesh بشروط حركية ذات معدل البت الثابت Constant Bit Rate (CBR) لمقارنة تأثير متغيرات حمولة الحركية على متوسط زمن الاستجابة، متوسط الإنتاجية والاستهلاك الكلي للطاقة في الشبكة بالنسبة لخوارزميات التوجيه المدروسة.

4- مفهوم NoC:

بدايةً من الضروري لنا أن نستوضح أكثر عن مفهوم الـ NoC والذي تم تقسيمه إلى عدة مبادئ أساسية:

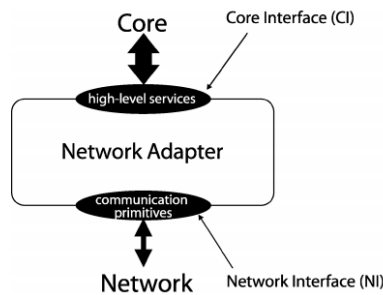
1-4 معمارية NoC (NoC Architecture):

كما هو مبين في الشكل (2) يتكون نموذج الـ NoC يتألف بشكل أساسي من:



الشكل (2): المكونات الأساسية لـ NoC

- الموجّه (Router): يوجه البيانات وفقاً لبروتوكولات محددة. ويشمل خوارزميات التوجيه.
- محوّل الشبكة: (Network Adapters (NA)) يمثل الجسر الواصل بين الموجّه والعناصر المتصلة به. مهمته الأساسية هي فصل عملية المعالجة في النوى (IPs) عن عملية الاتصال في الشبكة. ويشمل عمليتان هما بروتوكول التحويل وتشكيل الحزم (الرزق). كما هو موضح بالشكل (3).

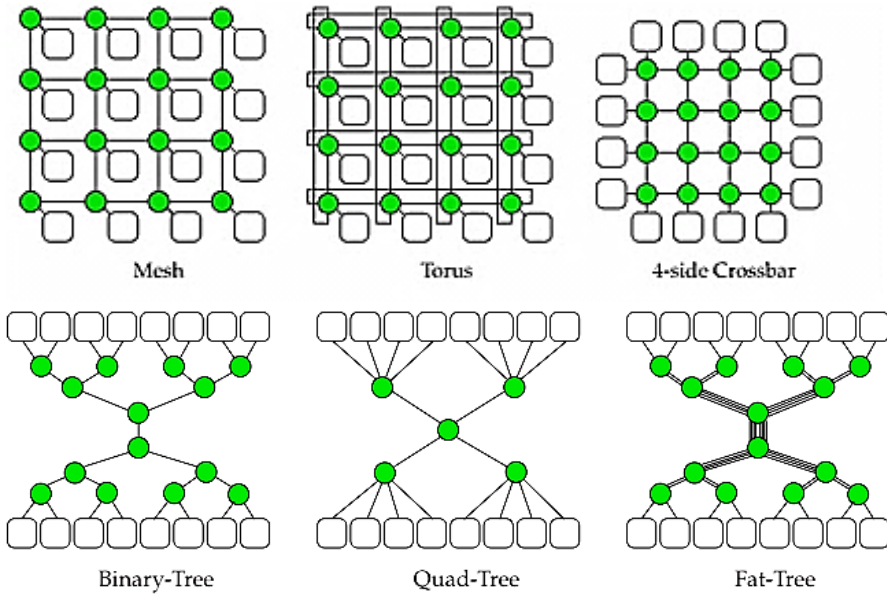


الشكل (3): (Network Adapters) في NoC

- الوصلات (Connections): وهي قنوات توصيل البيانات بين العناصر المختلفة للشبكة [4].

4-2 هيكلية الشبكة (Topology):

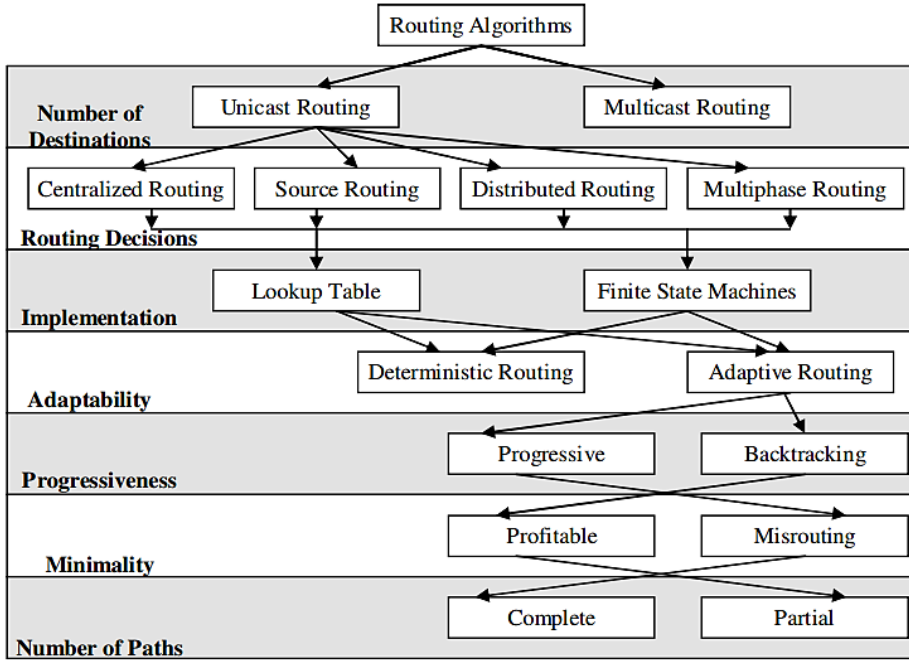
وهي الطريقة التي يتم فيها تنظيم الموجهات و NA والتوصيلات (Connections). تقسم إلى طوبولوجيات منتظمة (mesh, mesh torus, ring, fat-tree,.. ect) وغير منتظمة موضحة بالشكل (4).



الشكل (4): بعض طوبولوجيات NoC.

4-3 التوجيه (Routing):

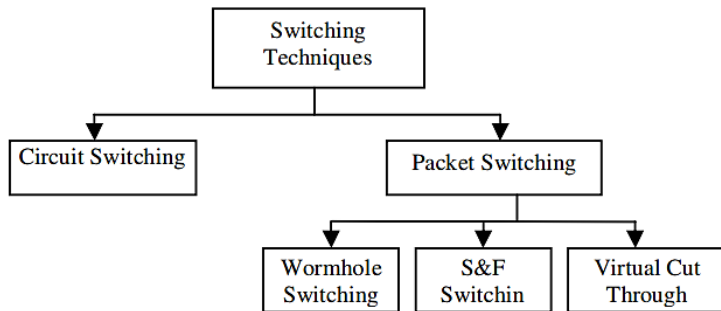
وهي عملية توجيه البيانات من المصدر إلى الوجهة وفق استراتيجيات محددة. بشكل عام يتم تصنيف خوارزميات التوجيه وفقاً لعدة معايير كما هو موضح بالمخطط في الشكل (5)، والتصنيف الذي تم اعتماده في هذه المقالة لتمييز خوارزميات التوجيه هو تكيف الخوارزمية مع حالة الشبكة (adaptability) [5].



الشكل (5): خوارزميات التوجيه في NOC وتصنيفاتها.

4-4 تقنيات الإبدال (Switching Techniques):

المهمة الأساسية لتقنيات الإبدال (وتسمى ببعض المراجع أنماط التوجيه) والموضحة تصنيفاتها الأساسية بالشكل (6)، هي تحديد متى وكيف يتم وصل مدخلات الراوتر بمخارجه. وتوجد العديد من تقنيات الإبدال بينها: store-and-forward, virtual cut-through and wormhole [6].



الشكل (6): تقنيات الإبدال في NOC.

5 – متطلبات الأداء في NoC (Performance Requirements):

لا بد أن يحقق أي نموذج مصمّم من الـ NoC كوكبة من متطلبات الأداء ليكون تصميمًا جيدًا وتتخلص بما يلي:

- زمن استجابة صغير (Small latency).
- إنتاجية عالية (Guaranteed throughput).
- تقسيم المسار (Path diversity).
- سعة نقل جيدة (Sufficient transfer capacity).
- استهلاك قليل للطاقة (Low power consumption).
- سماحية الخطأ والتشتت (Fault and distraction tolerance).
- المعمارية القابلة للتوسّع والبرمجة (Architectural requirements of scalability)
(and programmability).

وفي بحثنا هذا تم اعتماد ثلاث بارامترات من أجل تقييم الأداء، هي (زمن استجابة الشبكة (بمعنى آخر تأخير الشبكة)، إنتاجية الشبكة واستهلاك الطاقة الكلي في الشبكة):

1- زمن استجابة الشبكة (Network Latency): هي الزمن من لحظة تشكيل (head flit) في المصدر لحين استقبال آخر (tail flit) في الوجهة. ولتكن L_{ij} هي استجابة الرزمة z و N_i هو عدد الرزم التي تم استقبالها من خلال المعالج i (بعد عملية التهيئة warm-up). حيث N هو عدد المعالجات في الشريحة، يحسب معدل استجابة الشبكة كالتالي:

$$Average\ Network\ Latency = L_{avg} = \left(\frac{1}{N}\right) \sum \left(\frac{1}{N_i \sum L_{ij}}\right) \dots \dots (1)$$

for $i = 1, 2, \dots, N$ and for all j

2- إنتاجية الشبكة (Network Throughput): تعرّف على أنها معدل نجاح الشبكة بقبول وتوصيل الرزم المحقونة فيها. ولتكن T_{sim} و T_{warm} هما زمن المحاكاة وزمن تهيئة الاستقبال على الترتيب.

3- معدل إنتاجية الشبكة (Average Network Throughput) (رزمة في واحدة الزمن لكل عقدة (in packets per unit time per node) يعطى كما يلي:

$$T_{avg} = \frac{1}{N(T_{sim} - T_{warm}) \sum N_i} \dots \dots (2)$$

where $i = 1, 2, \dots, N$

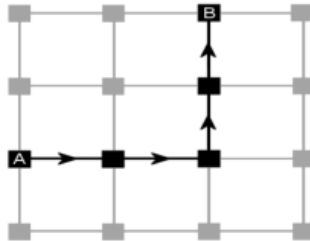
إن تخمين استهلاك الطاقة الكلي للشبكة يعتمد على العمليات القائمة في كل المكونات عند تشغيل نمط حركية معين. ولا بد أن يكون قليل لكل ال NoC.

6- خوارزميات التوجيه (Routing Algorithms):

6-1 خوارزميات التوجيه المحددة (Deterministic Routing Algorithm):

تولد خوارزميات التوجيه المحددة (Deterministic) دوماً نفس مسار التوجيه بين نفس المصدر والوجهة. وغالباً يكون أقصر مسار بينهما حيث تستخدم عنوان العقدة الحالية وعنوان الوجهة لحساب هذا المسار. ولأن الرزم تستخدم نفس المسار بين نفس عقدتي المصدر والوجهة، فلا يمكنها استخدام مسارات بديلة لتجنب حدوث الازدحام. من أكثر خوارزميات التوجيه المحددة استخداماً هي خوارزمية XY Routing [4].

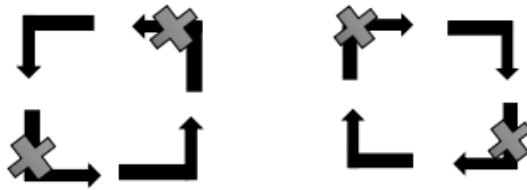
خوارزمية (XY Routing): يتم تطبيق هذه الخوارزمية من أجل مختلف أنواع الطوبولوجيا المنتظمة وغير المنتظمة. وتدعى (Dimension order routing DOR). وهي تتبع لمفهوم (minimal turning routing). في هذه الخوارزمية يتم تعريف كل موجه من ال NoC من خلال المؤشرين (x, y) للعقدة التابع لها في شبكة 2D-mesh. وفقاً لهذه الخوارزمية ترسل البيانات وفق المحور X باتجاه العمود الذي توجد فيه عقدة الوجهة (الموجه الخاص بها). ومن ثم يتم ارسالها وفق المحور Y وبذلك تصل إلى عقدة الوجهة. حركة البيانات في هذه الخوارزمية تظهر في الشكل (7).



الشكل (7) خوارزمية التوجيه XY

ومن هنا جاءت تسميتها بخوارزمية XY كون البيانات تتحرك وفق المحور X أولاً ثم وفق المحور Y. ولأن بعض الانتقالات تمنع في هذه الخوارزمية، الشكل (8)، فهي من تلقاء نفسها أصبحت خالية من الجمود (deadlock) [7].

وفقاً لهذه الخوارزمية يتم مقارنة عنوان الموجّه الحالي (C_x, C_y) مع عنوان الموجّه الهدف (عقدة الوجهة) (D_x, D_y) والذي يتواجد في ترويسة الـ flit. وتذهب الـ flit إلى منفذ الموجّه الذي يحمل نفس عنوان الوجهة أي عند تساوي العنوانين (D_x, D_y) و (C_x, C_y) . وتتخلص الخوارزمية بالشكل التالي:



الشكل (8): الانتقالات المسموحة في خوارزمية XY.

- إذا لم يتساو العنوانان، يتم بدايةً مقارنة C_x مع D_x (أي يتم التوجيه وفق المحور الأفقي أولاً):

- عندما $C_x > D_x$ تتوجه الـ flits إلى المنفذ WEST في الموجّه الحالي.
- عندما $C_x < D_x$ تتوجه الـ flits إلى المنفذ EAST في الموجّه الحالي.
- عندما $C_x = D_x$ أي أن الـ flits في الموقع الصحيح من المحور الأفقي لشبكة الـ mesh ويتم توجيهها الآن وفق المحور الشاقولي.

يتم مقارنة C_y مع D_y :

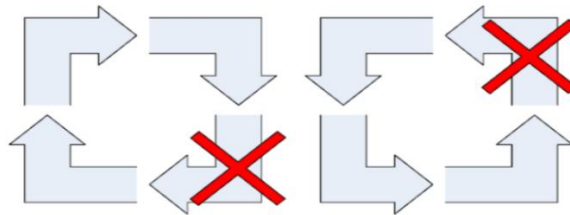
- عندما $C_y > D_y$ تتوجه الـ flits إلى المنفذ NORTH في الموجّه الحالي.
- عندما $C_y < D_y$ تتوجه الـ flits إلى المنفذ SOUTH في الموجّه الحالي.
- عندما $C_y = D_y$ أي أن الـ flits أصبحت في عقدة الوجهة [8].

2-6 خوارزميات التوجيه المعتمدة على (Turn Model):

خوارزميات التوجيه Turn Model [9] تحدّد الحد الأدنى من الانتقالات (الالتفافات) اللازمة للتخلص من حالة الـ(Deadlock). مع المحافظة على بعض خاصيات تنوع المسار وإمكانية التكيّف. في التوجيه بترتيب البعد (Dimension Order Routing) فقط أربع التفافات (انتقالات) ممكنة من أصل 8 التفافات متاحة في شبكات 2D-mesh. أما خوارزميات (Turn model routing) تزيد من مرونة الشبكة وذلك بزيادة عدد الالتفافات المسموحة لتصبح 6 من أصل 8. أي يتم منع التفاف واحد فقط من كل دورة. تعتبر هذه الخوارزميات جزئية التكيّف يتم حساب أكثر من مسار بين المصدر والوجهة فيها. لكن بناءً على قيود الاختناق في الشبكة سيتم اختيار مسار واحد فقط للتوجيه. وأيضاً الخاصية المشتركة لهذه الخوارزميات هي خلوها من (Deadlock)، حيث تعمل على إلغاء الحافة اليمنى من الحلقة (الدائرة) المسببة لحالة الـ (Deadlock).

1-2-6 خوارزمية التوجيه West First:

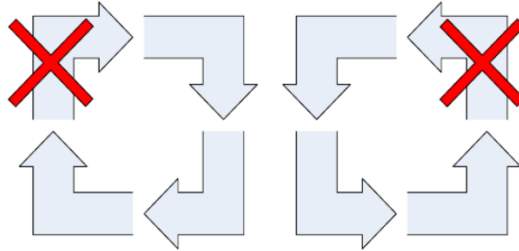
هي خوارزمية توجيه جزئية التكيّف (Partially Adaptive Routing Algorithm). تطبق قيود على مسارين في كل عقدة. مثلاً الالتفاف من South إلى West ومن الـ North إلى West. أي أن الرزم لا يمكنها الانتقال من المنفذ South إلى المنفذ West أو من المنفذ North إلى West، كما هو مبين في الشكل (9). ووفقاً لهذه الخوارزمية الرزم يجب أن تبدأ من الاتجاه الغربي West (عند الضرورة) قبل الانتقال إلى باقي الاتجاهات. بعد الانتقال للـ West يمكن توجيهها بشكل متكيّف إلى باقي الاتجاهات South، East و North. ولا يمكن تسيير الرزمة لاحقاً باتجاه الغرب West بسبب قيود التوجيه الي تفرضها الخوارزمية [9].



الشكل (9): الالتفافات المسموحة في خوارزمية (West First).

6-2-2 خوارزمية التوجيه North Last:

هي خوارزمية توجيه جزئية التكيّف. في شبكات Mesh يوجد مساري توجيه مقيدين في كل عقدة مثلاً من North إلى West و من North إلى East. الرزم لا تستطيع الانتقال من المنفذ North إلى المنفذ West أو من المنفذ North إلى المنفذ East كما هو موضح بالشكل (10). وفقاً لهذه الخوارزمية الرسالة ستوجه إلى المنفذ الشمالي North فقط في حال كانت آخر اتجاه في مسارها. أي متى ما تم توجيه الرسالة للمنفذ North لا يمكن توجيهها بأي اتجاه آخر بعدها، وبالتالي الانتقال للـ North لا بد أن يكون آخر انتقال ضمن المسار المحدد. في هذه الخوارزمية يتم توجيه الرزم بشكل متكيّف للاتجاهات West، South و East وفي النهاية توجه للـ North [9].

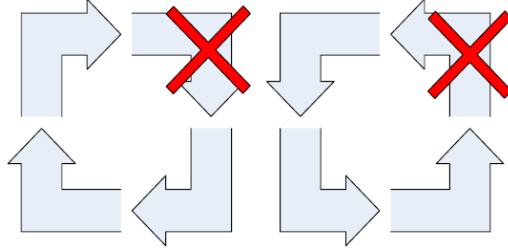


الشكل (10): الالتفافات المسموحة في خوارزمية (LAST NORTH).

6-2-3 خوارزمية التوجيه (Negative First):

هي خوارزمية توجيه جزئية التكيّف. في شبكات Mesh يوجد مساري توجيه مقيدين في كل عقدة، مثلاً الانتقالات من North إلى West ومن East إلى South. أي أن الرزم لا يمكنها الانتقال من المنفذ North إلى المنفذ West ومن المنفذ East إلى المنفذ South للعقدة كما هو واضح في الشكل (11). ووفقاً لهذه الخوارزمية لا يمكن للرسائل ان تنتقل من الاتجاه الموجب إلى الاتجاه السالب باعتبار أن الـ North و East اتجاهات موجبة والـ South و West هي اتجاهات سالبة. لذلك تنتقل الرسائل في الاتجاهات السالبة (South & West) في البداية قبل أن يسمح لها بالانتقال في الاتجاهات الموجبة (North & East). في هذه الخوارزمية توجه الرزم بشكل متكيّف في الاتجاهات السالبة (West & South)

ومن ثم توجه في الاتجاهات الموجبة. هذه الخوارزمية يمكن أن تكون Minimal أو Non-Minimal. لكن النسخة الـ Non-Minimal هي الأكثر تكيفاً وتسامحاً مع الأخطاء [9].



الشكل (11): الالتفافات المتاحة في خوارزمية (Negative First).

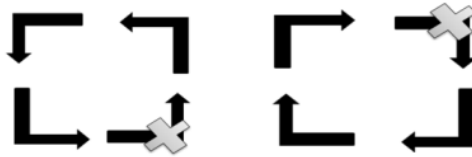
6-2-4 خوارزمية التوجيه OE Routing (Odd-Even):

يتم حساب أكثر من مسار توجيه بين المصدر والوجهة في خوارزميات التوجيه المتكيفة و الخيار يقع على مسار واحد تبعاً لشروط الازدحام في الشبكة. وهذه المسارات تتغير دائماً وفقاً للتغيرات الديناميكية لحالة الازدحام في الشبكة. خوارزمية التوجيه OE (Odd-Even Routing algorithm). تتدرج تحت تصنيف خوارزميات التوجيه التوزيعية المتكيفة (distributed adaptive routing). وهو قائم على التفاف Odd-Even. ولأن هذه الخوارزمية تقدم العديد من قيود الانتقال فهي خالية بشكل تلقائي من الـ (Deadlock). Odd-Even Turn Model لا تحتاج لأية قناة فرعية في طوبولوجية 2D mesh. تمثل كل عقدة في طوبولوجية 2D mesh بمؤشراتها (x,y)، وفقاً لهذه الخوارزمية إذا كان البعد x للعقدة رقم زوجي (even) عندها يعتبر هذه العמוד هو عמוד زوجي وفي حال كان مؤشر الـ x للعقدة فردي فيعتبر العמוד عندئذ عמוד فردي. الالتفاف (turn) يعرف على أنه تغيير اتجاه الانتقال بمقدار 90 درجة. وفقاً لذلك لدينا 8 احتمالات للانتقالات (الالتفافات) عند كل انتقال. الانتقال ES يعرف على أنه انتقال (turn) فقط عندما يكون التغيير في الاتجاه من الشرق (EAST) للجنوب (SOUTH). WS يعرف على أنه انتقال (turn) فقط عندما يكون التغيير في الاتجاه من الغرب (WEST) للجنوب (SOUTH). وبنفس الطريقة تعرف الانتقالات EN, WN, SE, SW, NE, NW و حيث N,S,W,E تمثل على الترتيب

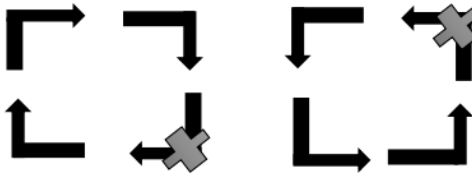
الشمال، الجنوب، الغرب و الشرق. وفقاً لخوارزمية التوجيه OE يجب اتباع النظريات التالية لتجنب حدوث Deadlock [10].

النظرية 1: اذا كانت العقدة متمثلة بعامود زوجي لا يمكن للرزم أن تقوم فيها الانتقالات EN كما هو مبين في الشكل (12) و اذا كانت العقدة متمثلة بعامود فردي لا يمكن للرزم أن تقوم بالانتقال NW كما هو واضح في الشكل (13).

النظرية 2: اذا كانت العقدة متمثلة بعامود زوجي لا يمكن للرزم أن تقوم فيها الانتقالات ES كما هو مبين في الشكل (12) و اذا كانت العقدة متمثلة بعامود فردي لا يمكن للرزم أن تقوم بالانتقال SW كما هو واضح في الشكل (13).



الشكل (12): الانتقالات الممكنة للأعمدة الزوجية في خوارزمية التوجيه OE.



الشكل (13): الانتقالات الممكنة للأعمدة الفردية في خوارزمية التوجيه OE.

3-6 خوارزميات التوجيه المتكيفة (Adaptive Routing Algorithms):

لا تجبر هذه الخوارزميات الرزمة بمسار واحد فقط من المصدر للوجهة، فعند حساب التوجيه يتم الأخذ بعين الاعتبار الحالة الحالية للشبكة. هذا ما يجعل عملية التوجيه أكثر مرونة ويقلل من وقت الانتظار غير الضروري و بالتالي يوفر تسامح أكبر مع الأخطاء.

1-3-6 خوارزمية التوجيه الديناميكية DyAD :

وهي إحدى خوارزميات التوجيه الذكية. وهي ديناميكية بتكوينها. تجمع بين ميزات خوارزميات التوجيه المحددة (deterministic) والمتكيفة (adaptive). حيث تتميز خوارزميات التوجيه المحددة أنها ذات استجابة سريعة عند وجود معدلات ازدحام منخفضة وتصميم الموجّه فيه

بسيط. أما خوارزميات التوجيه المتكيفة تتميز بتجنبها للوصلات المزدحمة في الشبكة وبذلك تحقق إنتاجية عالية. في حالات الازدحام المنخفضة للشبكة لا يكون أداء خوارزميات التوجيه المتكيفة مرضي. وستؤدي لتأخير كبير ناتج عن عمليات التحكم الإضافية. خوارزمية التوجيه DyAD تتبدل بين المتكيفة والمحددة وفقاً لحالة الازدحام في الشبكة. في DyAD كل موجة في الشبكة وبشكل مستمر يقوم بقياس الازدحام. يتم حساب قيمة الازدحام لكل الموجّهات المجاورة ويتم اتخاذ قرار التوجيه اعتماداً على هذه القيم الآتية. يعمل موجة DyAD بوظيفة موجة ثابت (محدد) عندما تكون قيم الازدحام منخفضة. وبالتالي سيستفيد من ميزات التأخير المنخفض في هذا النوع من الموجّهات. ويعمل الموجّه DyAD في نمط التوجيه المتكيف عندما يكون مستوى الازدحام عالٍ. و بالتالي نحصل على ميزات تجنب الوصلات المزدحمة عبر استكشاف مسار التوجيه، وهذا يقودنا لإنتاجية عالية في الشبكة وهو أمر مرغوب به في التطبيقات المستخدمة لـ NoC. ويتم تجنب Deadlock و Livelock عند الدمج بين نمطي التكيف و التحديد في NoC.

4-6 خوارزمية التوجيه Dynamic XY:

كما ناقشنا سابقاً أن خوارزميات التوجيه المحددة لها بعض الإيجابيات من بساطة تصميم الموجّه وتدرّج قيمة الإنتاجية عند زيادة نسبة حقن الرزم. ولذلك تصنف خوارزمية التوجيه XY على أنها مدركة للازدحام بطبيعتها وخالية أيضاً من (Deadlock). وقد ثبت أن التكيف يقلل من عمليات تكوين عقد الذروة (Hotspot Node Formation) وتجنب أخطاء المكونات. ويمكن اكتساب التكيف في الشبكة من خلال مراقبة مستويات الاختناق بشكل مستمر. يتم الوصول على خاصيتي (Deadlock-Free) و (Livelock-Free) من خلال إضافة بعض القيود على التوجيه أو اختيار المسار الأقصر بين المصدر والوجهة. وصف الخوارزمية:

1- يتم قراءة عنوان الموجّه الهدف من الرزمة القادمة للموجه الحالي.

2- مقارنة عنوان الموجّه الهدف مع عنوان الموجّه الحالي:

في حال تتطابق العناوين، يتم إرسال الرزمة على المنفذ المحلي local الخاص بالموجه. أما إذا كان عنوان الموجّه الهدف له نفس عنوان المؤشر X (أو نفس قيمة المؤشر Y) للموجه

الحالي ، ترسل الرزمة إلى الموجّه المجاور الذي له نفس قيمة الـ y (أو نفس قيمة الـ x) باتجاه الموجّه الهدف. وإلا يتم فحص قيمة الـ stress للموجهات المجاورة للموجه الحالي، و ترسل الرزمة للموجه ذو القيمة الأقل [11].

قيمة الـ stress هي بارمتر يمثل شروط الاختناق في الموجّه، والتي تتمثل بعدد الخلايا المشغولة في بفرات (مسجلات) (Buffers) الدخل. كل قيمة لـ stress تحدّث اعتماداً على آلية Event-Driver.

7 - تحليل أداء خوارزميات التوجيه (XY-OE-DyAD):

7-1 المعطيات التجريبية للمحاكاة:

تم إجراء المحاكاة باستخدام الـ (NoC Interconnect Routing and Applications) لمقارنة أداء خوارزميات التوجيه المحددة XY ، المتكيفة OE و الخوارزمية الناتجة عن دمجها DyAD . مقاييس الأداء المعتمدة هي (معدل زمن الاستجابة، معدل الإنتاجية واستهلاك الطاقة الكلي للشبكة) وذلك من أجل المعطيات المبينة بالجدول (1). تم اعتماد هذه المعطيات كونها بارمترات قياسية معتمدة في جميع الأبحاث التي تقيم أداء خوارزميات التوجيه في شبكات NoC.

الجدول (1) المعطيات التجريبية لمحاكاة خوارزميات التوجيه XY, OE, DYAD

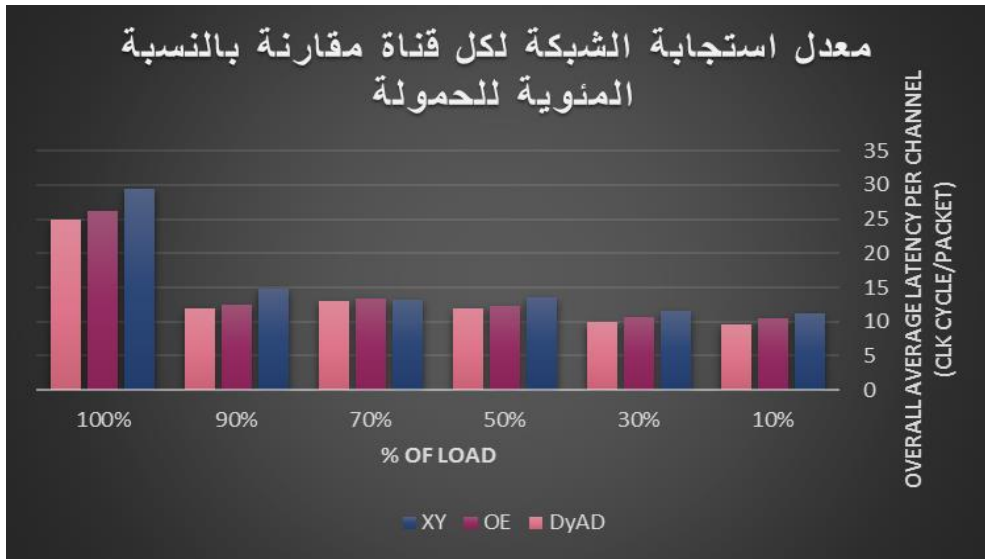
3 X 3 mesh	طوبولوجيا الشبكة (topology)
CBR(Constant Bit Rate)_12 Gbps	مولد الحركة (traffic generator)
FIFO(first input first output) is 32	عمق البفرات(المسجلات) في قناة الدخل (عدد البفرات)(Buffer depth of input channel)
4	عدد القنوات الافتراضية في القناة الفيزيائية (Number of virtual channels per physical channel)
3 um(unit meter)	طول الوصلة (Link length)
20_bytes	حجم الرزمة (Packet size)
2 clock cycles	الفاصل الزمني بين الـ flit (flit interval)
1 GHz	تردد الساعة (Clock frequency)
800 clock cycles	زمن التهيئة (warm-up time)

50000 clock cycles

زمن المحاكاة (Simulation time)

7-2 نتائج المحاكاة:

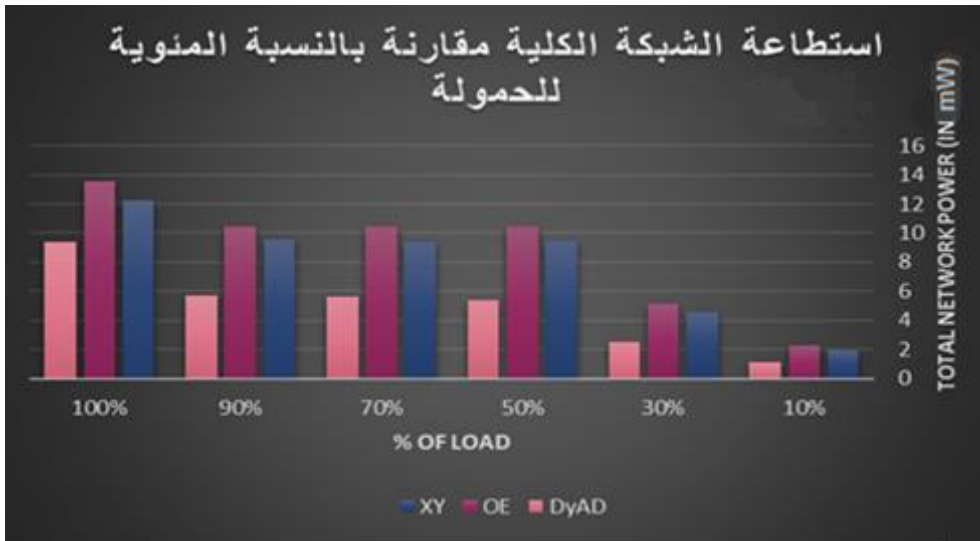
تم الحصول على نتائج المحاكاة بناءً على الشروط التجريبية السابقة وذلك من أجل معدل زمن الاستجابة (average latency)، معدل الإنتاجية (average throughput) بالإضافة إلى استطاعة الكلية للشبكة (total network power) و ذلك بالمقارنة مع النسبة المئوية للحمولة في نمط الحركة العشوائي.



الشكل (14): معدل زمن الاستجابة لكل قناة مقارنة بالنسبة المئوية للحمولة

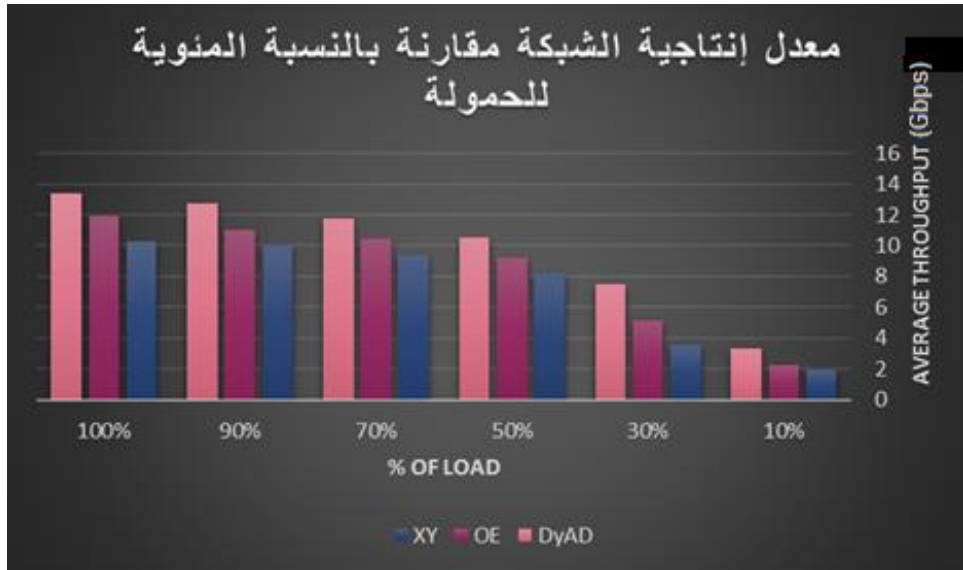
يبين الشكل (14) الرسم البياني لمعدل زمن استجابة الشبكة لكل قناة (/ clkcycle packet) من أجل خوارزميات التوجيه XY, OE, DyAD. يظهر فيه تقارب قيم زمن الاستجابة في الحمولات المنخفضة بين خوارزميتي التوجيه OE,XY بينما زمن الاستجابة في خوارزمية DyAD كان الأفضل عند النسب المنخفضة للحمولة. يزداد التأخير في خوارزمية XY مع زيادة نسبة الحمولة وذلك بسبب عدم قدرتها على اختيار المسارات الأقل ازدحاماً، بينما تتقارب معدلات زمن الاستجابة بين OE, DyAD عند الحمولات المتوسطة والعالية، وذلك لأن خوارزمية DyAD تعمل عمل خوارزمية OE في المسارات الأكثر ازدحاماً، مع تفوق واضح لخوارزمية DyAD في معدل زمن الاستجابة بسبب ديناميكية عملها.

الشكل (15) يبين استهلاك الطاقة الكلي للشبكة مقارنة بالنسبة المئوية للحمولة من أجل خوارزميات التوجيه XY, OE, DyAD. إن استهلاك الطاقة الكلي للشبكة كان كبير لخوارزمية OE وخاصة في النسب العالية من الحمل والمتوسطة منها. و تتقارب قيم الطاقة المستهلكة بالنسبة لخوارزميتي التوجيه XY, DyAD عند النسبة المنخفضة للحمولة ولكن بزيادة هذه النسبة يزداد الاستهلاك بشكل كبير في خوارزمية XY. مع بقاء الاستهلاك مقبول في خوارزمية التوجيه DyAD كونها تقلل من زمن الانتظار لاختيارها الخوارزمية المناسبة في كل حالة من حالات الشبكة، وبالتالي استهلاك الموارد يكون فيها أقل كالبفرات (buffers).



الشكل (15): استهلاك الطاقة الكلي للشبكة مقارنة بالنسبة المئوية للحمولة

يبين الشكل (16) معدل إنتاجية الشبكة (Gbps) لكل من الخوارزميات XY, OE و DyAD بتغير النسبة المئوية للحمولة، يظهر بوضوح هيمنة خوارزمية التوجيه OE على قرينتها الـ XY كونها تعمل على توزيع الحمل بشكل أكبر وأقل تأخير بتوصيل الرزم في الحملات المتوسطة و العالية. لكن خوارزمية التوجيه DYAD تفوقت بشكل واضح على خوارزميتي التوجيه OE و XY في معدل الإنتاجية و خاصة عند زيادة نسب الحمل،



الشكل (16): معدل الإنتاجية مقارنة بالنسبة المئوية للحمولة

وذلك لاستغلالها الأمثل لكل حالات الشبكة سواءً بساطة وسرعة العمل بخوارزمية XY في الحمولات المنخفضة وفعالية العمل بخوارزمية OE في الحمولات العالية. مقياس الأداء (P): هي نسبة معدل الإنتاجية على معدل زمن الاستجابة. وتكون قيمة الـ P الأعلى للخوارزمية ذات الأداء الأفضل.

$$P = \text{Performance Metrics (Per channel basis)} = \text{Average Throughput/Average Latency} \dots \dots \dots (3)$$

الجدول (2) قيم زمن الاستجابة و معدل الإنتاجية لخوارزميات (XY,OE,DYAD) من أجل نسبة حمولة 50%

خوارزمية التوجيه	Average Throughput	Average Latency
XY	8.198	13.5859
OE	9.2098	12.3141
DYAD	10.5469	11.9326

من خلال النتائج المبينة في الجدول (2) نستطيع حساب قيمة (P) كما يلي:

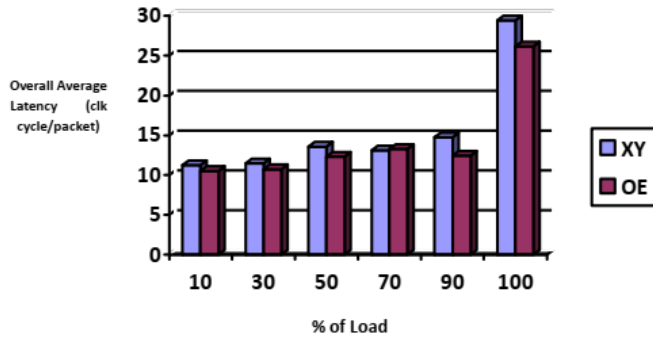
$$XY \text{ Routing (50\% Load) } P = (8.198/13.5859) = 0.6034$$

$$OE \text{ Routing (50\% Load) } P = (9.2098/12.3141) = 0.7479$$

$$DyAD \text{ Routing (50\% Load) } P = (10.5469/11.9326) = 0.8836$$

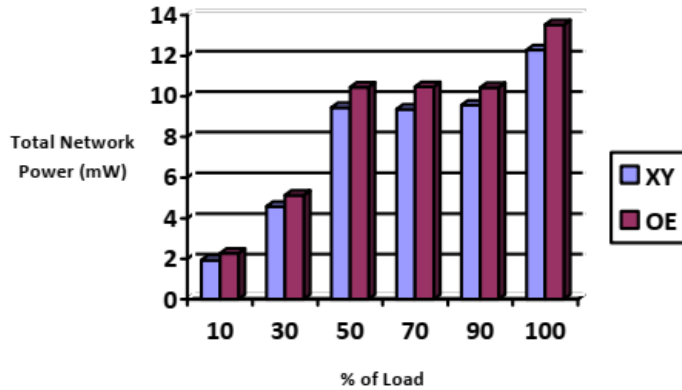
وبالتالي نجد أن الدمج بين خوارزميتي التوجيه XY و OE أعطى نتائج جيدة من ناحية الإنتاجية والاستجابة كونها تعمل على الاستغلال الأمثل لموارد الشبكة بناءً على شروط الازدحام فيها.

قمنا بمقارنة النتائج التي حصلنا عليها في هذه المحاكاة مع النتائج التي قُدمت في العمل [13]، والتي تستهدف خوارزميات التوجيه XY و OE حيث تمت المحاكاة باستخدام NIRGAM من أجل نفس البارامترات التي قمنا باستخدامها و المبينة في الجدول (1)، تم قياس أداء الخوارزميتين من أجل معدل زمن تأخير الاستجابة (المبيّن بالشكل (17))، الاستطاعة المستهولة (المبيّنة بالشكل (18)) و معدل الإنتاجية (المبيّن بالشكل (19)) من أجل تغيرات نسبة الحمولة، ومن خلال مقارنة الشكل (14) مع الشكل (17)، الشكل (15) مع (18)، وأيضاً الشكل (16) و (17). نلاحظ تقارب القيم في المنحنيات التي حصلنا عليها في دراستنا والقيم التي تم عرضها في المرجع المدروس.

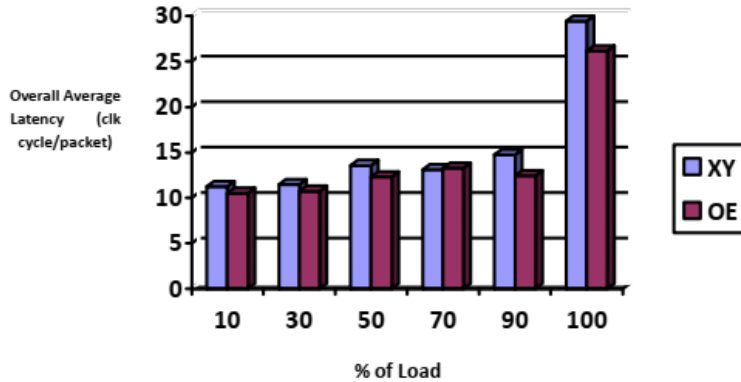


الشكل (17): معدل زمن الاستجابة لكل قناة مقارنة بالنسبة المئوية للحمولة في

العمل [13].



الشكل (18): استهلاك الطاقة الكلي للشبكة مقارنة بالنسبة المئوية للحمولة للعمل
[13].



الشكل (19): معدل الإنتاجية مقارنة بالنسبة المئوية للحمولة [13].

8- تحليل أداء خوارزميات التوجيه (XY,OE,WF,NL,NF,DyXY):

في هذا القسم سوف نناقش أداء مختلف خوارزميات التوجيه المحددة والمتكيفة بالإضافة للخوارزميات جزئية التكيف والتي تشترك مع بعضها بميزة خلوها من (deadlock). و هذه الخوارزميات هي XY (a deterministic DOR routing) و خوارزمية OE (Turn West First, North Last, Negative First, (model based adaptive routing minimal) DyXY، و خوارزمية (Turn model based partially adaptive routing)، و بعدها سنقوم بمحاكاتها على برنامج NIRGAM ومقارنة أدائها وذلك خلال تغير نسبة الحمولة.

8-1 المعطيات التجريبية للمحاكاة:

في الجدول (3) تم تحديد البارامترات المعتمدة في هذه المحاكاة للمقارنة بين خوارزميات التوجيه السابقة وتقييم أدائها. تم زيادة أبعاد الشبكة المدروسة لإعطاء نتائج أشمل مع زيادة عدد الخوارزميات التي تتم مقارنتها.

الجدول (3): بارامترات المحاكاة التي يتم فيها تقييم أداء خوارزميات

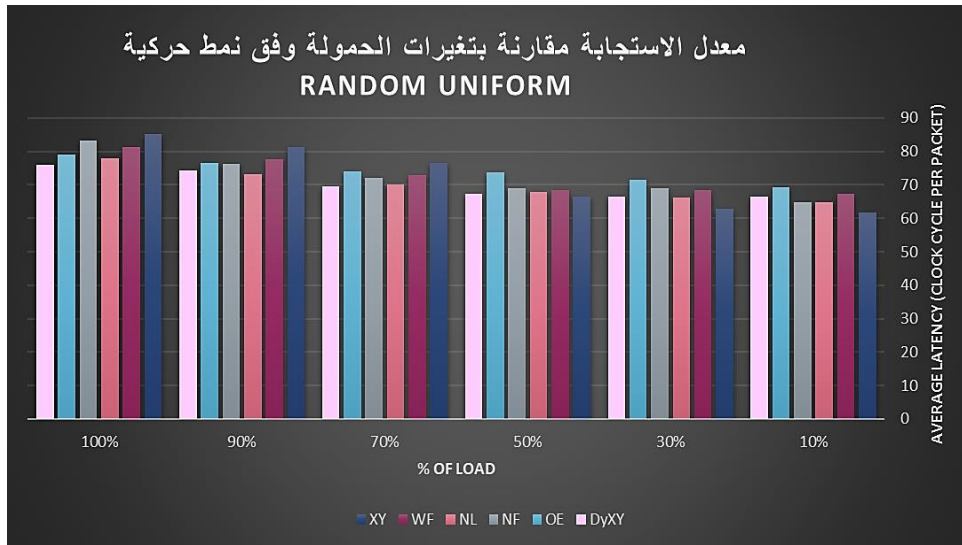
. XY,OE,WF,NL,NF,DYXY

4x4 mesh	طوبولوجيا الشبكة (topology)
CBR(Constant Bit Rate)_32 Gbps	مولد الحركة (traffic generator)
FIFO is 32	عمق البفرات في قناة الدخل (عدد البفرات) (Buffer depth of input channel)
4	عدد القنوات الافتراضية في القناة الفيزيائية (Number of virtual channels per physical channel)
3 um	طول الوصلة (Link length)
20_bytes	حجم الرزمة (Packet size)
2 clock cycles	الفاصل الزمني بين الفليت (flit interval)
1 GHz	تردد الساعة (Clock frequency)
800 clock cycles	زمن التهيئة (warm-up time)
50000 clock cycles	زمن المحاكاة (Simulation time)

وتتم المحاكاة وفقاً لتغير نسبة الحمولة المثوية.

2-8 نتائج المحاكاة:

قمنا بإجراء المحاكاة وفقاً للبارامترات السابقة مقارنة مع تغيرات الحمولة مأخوذة بالنسبة المئوية. من الشكل (20) والذي يبين معدل زمن الاستجابة للخوارزميات المختلفة، نلاحظ انخفاض معدل زمن الاستجابة عند خوارزمية XY في نسب الحمولة المنخفضة، تليها خوارزميات التوجيه NL و NF بينما كانت خوارزميات التوجيه DyXY ، OE و WF هي الأكثر تأخيراً. ومع زيادة نسبة الحمولة يزداد التأخير بشكل كبير بالنسبة لخوارزمية الـ XY لتغدو الأكثر تأخيراً تليها OE ثم NF و WF. في الحمولات المتوسطة تبدي خوارزمية التوجيه NL ثباتاً نسبياً بمعدل زمن الاستجابة كما في خوارزمية DyXY. لكن الأخيرة هي الأكثر فعالية من حيث التأخير (زمن الاستجابة) بين باقي الخوارزميات في الحمولات المتوسطة والعالية.



الشكل (20): المخطط البياني لمعدل زمن الاستجابة مقارنة بتغيرات النسبة المئوية للحمولة.

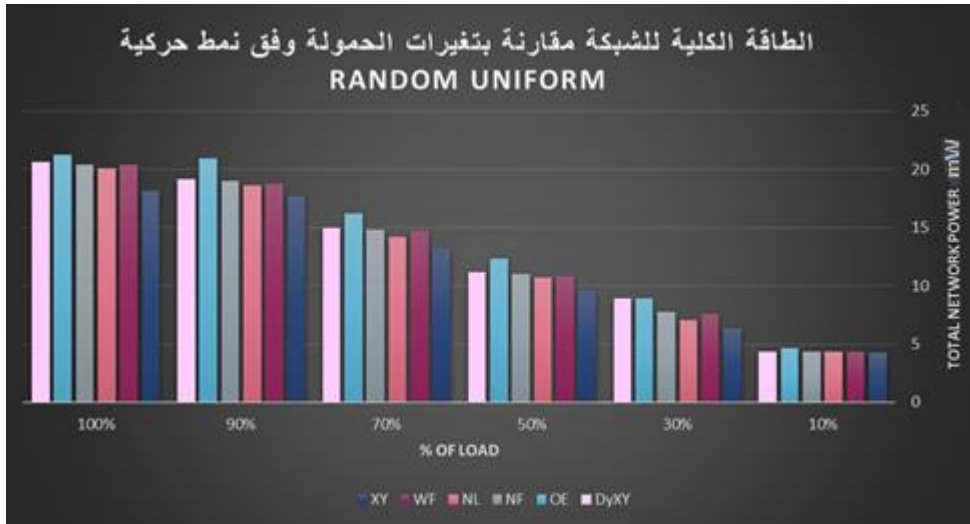
نجد في الشكل (21) تدرج بمعدلات الإنتاجية بزيادة نسبة الحمولة و تقارب واضح في الأداء بين خوارزميات التوجيه XY ، WF و NF. وبينما تتقارب خوارزميات التوجيه DyXY و OE و NL. ومن هنا نلاحظ تأثير زيادة درجة التكيف على تحسين أداء الخوارزميات من حيث

الإنتاجية، فكانت خوارزمية DyXY هي الأفضل تليها OE ثم NL. بينما الأقل معدل إنتاجية كانت خوارزمية XY.



الشكل (21): المخطط البياني لمعدل الانتاجية مقارنة بتغيرات النسبة المئوية للحمولة.

وبيّن الشكل (22) أنه وعند نسب الحمولة المنخفضة يكون معدل استهلاك الطاقة في خوارزميات التوجيه OE وWF هو الأعلى تليهم خوارزمية DyXY كونها تعتمد على قياس مستمر لحالة الازدحام في عقد الشبكة.



الشكل (22): المخطط البياني لاستهلاك الطاقة الكلي للشبكة مقارنة بتغيرات النسبة المئوية للحمولة.

بينما كانت خوارزميتي XY وNL هما الأمثل في استهلاك الطاقة بسبب بساطة تنفيذهما و تحقيق قرار التوجيه فيهما.

الجدول (4) قيم معدل زمن الاستجابة ومعدل الإنتاجية لخوارزميات (XY,OE,DYXY.WF.NL.NF) من أجل نسبة حمولة 50%

خوارزمية التوجيه	Average Throughput	Average Latency
XY	5.90696	66.4783
WF	7.311	68.5387
NL	7.9612	67.7663
NF	7.521	69.0121
OE	9.336	73.661
DyXY	10.186	67.2065

بحساب مقياس الأداء (P) للخوارزميات المدروسة اعتماداً على النتائج المأخوذة من المحاكاة والمبينة في الجدول (4) نجد:

$$P = \text{Performance Metrics (Per channel basis)} = \text{Average Throughput/Average Latency} \dots \dots \dots (4)$$

$$\text{For XY Routing (50\% Load) } P = (5.90696 / 66.4783) = 0.0885$$

$$\text{For West First Routing (50\% Load) } P = (7.311 / 68.5387) = 0.1066$$

$$\text{For North Last Routing (50\% Load) } P = (7.9612/67.7663) = 0.1174$$

$$\text{For Negative First Routing (50\% Load) } P = (7.521 / 69.0121) = 0.1089$$

$$\text{For OE Routing (50\% Load) } P = (9.336 / 73.661) = 0.1267$$

$$\text{For DyXY Routing (50\% Load) } P = (10.186 / 67.2065) = 0.1515$$

نلاحظ تفوق خوارزمية التوجيه المتكيفة DyXY من ناحية الأداء على نظيراتها، و كلما زادت درجة التكيف الجزئي كلما زادت فعالية الخوارزمية (كما في OE و NL).

9- الخاتمة و الاقتراحات المستقبلية:

في هذه المقالة قمنا بدراسة العديد من خوارزميات التوجيه كخوارزميات XY، OE، DyAD، Negative First، North Last، West first، DyXY. الميزة المشتركة فيها كانت خلوها من Deadlock. كما قمنا بمقارنة أداء هذه الخوارزميات أثناء تغير النسبة المئوية للحمولة ولاحظنا التأثير على بارامترات الشبكة كزمن الاستجابة والإنتاجية والطاقة المستهلكة. في القسم الأول من المحاكاة لاحظنا فائدة الدمج بين خوارزمية التوجيه XY وخوارزمية التوجيه OE من خلال الخوارزمية DyAD وذلك بتحليلنا للنتائج التي حصلنا عليها مع الأخذ بعين الاعتبار تكلفة بناء الموجّه في DyAD وصعوبة تنفيذه مقارنة بـ XY، OE و كل هذا يتعلق بالأهداف المرجوة و شروط العمل في الشبكة و متطلبات الأداء التي يحددها المستخدم. فعند الحملات القليلة لا داعٍ لاستخدام خوارزميات ذات استهلاك طاقة كبير كـ OE وتكون خوارزمية الـ XY هي المناسبة لبساطتها وأدائها المقبول. أما عند تباين الحملات فيكون خيار DyAD هو الأفضل لتحقيق إنتاجية عالية بأقل استهلاك للطاقة. وعندما يكون الهدف الحصول على أداء جيد من ناحية الإنتاجية وبأقل تكاليف التنفيذ فـ خيار OE هو خيار جيد. من خلال القسم الثاني من المحاكاة وجدنا تفوق خوارزمية DyXY على باقي الخوارزميات وعند مختلف نسب الحمولة. وتميزت خوارزمية North Last عن نظيراتها في خوارزميات جزئية التكيف من ناحية زمن الاستجابة و الإنتاجية و أيضاً استهلاك الطاقة، كانت نتائجها بالمجمل أقرب لتكون متكيفة و بأقل صعوبة من حيث التنفيذ كونها ليست بحاجة لمعرفة حالة الشبكة مسبقاً، و بالتالي قد تكون خيار جيد لأداء مقبول و تنفيذ أبسط عن خوارزميات التوجيه الكاملة التكيف. من حيث استهلاك الطاقة يمكننا ترتيب الخوارزميات من حيث الأداء الأفضل كالتالي:

Deterministic routing > Partial Adaptive routing > Adaptive routing.

في هذا البحث قمنا بإجراء المقارنة وتحليل الأداء للخوارزميات في الشبكات ذات الطوبولوجية المنتظمة. وبالتالي لابد لنا من تحقيق هذه الخوارزميات ودراستها في شبكات غير منتظمة. من خلال ملاحظتنا لتحسن الأداء عند دمج خوارزميات التوجيه بأنواعها المختلفة كما في الـ DyAD بناء على دراسة حالة الشبكة و تغييرات الحمولة و أداء الخوارزميات عند تغيير البارامترات، سنقوم بإجراء عمليات دمج لخوارزميات أخرى للحصول على أداء أفضل و خاصة من ناحية الإنتاجية و بأقل تكلفة.

العمل على تطوير خوارزمية التوجيه جزئية التكيف North Last كونها ذات نتائج جيدة وللحصول من خلالها على خوارزميات أكثر فعالية وخاصة بمجال الإنتاجية.

قائمة المراجع :

- [1] T. BJERREGAARD and S. Mahadevan. 2006– A survey of research and practices of network-on-chip. ACM Comput. Surv, 51P.
- [2] M. Coppola, M. D.GRAMMATIKAKIS, R. Locatelli, G. MARUCCIA, and L. PIERALISI, 2009 – Design of Cost-Efficient Interconnect Processing Units: Spidergon STNoC. CRC Press, Taylor & Francis Group, 293P.
- [3] J. D. OWENS, W. J. DALLY, R. HO, D. N. JAYASIMHA, S. W. KECKLER, and L.–S. PEH, 2007–Research Challenges for On-Chip Interconnection Networks. IEEE Micro, 27(5):96–108.
- [4] T. Khan, 2017 – Performance Analysis of XY Routing Algorithm Using 2-D Mesh ($M \times N$) Topology. University of Victoria.
- [5] J. DUATO, S. YALAMANCHILI, and L. NI, 2003– Interconnection Networks: An Engineering Approach. Revised Printing. Morgan Kaufmann, 660P.
- [6] T. H. DUNIGAN, J. S. VETTER, J. B. W. III, and P. H. WORLEY, 2005– Performance Evaluation of The Cray X1 Distributed Shared-Memory Architecture. IEEE Micro, 25(1):30–40.
- [7] W. ZHANG, L. HOU, J. WANG, S. GENG, W. WU, 2006 – Comparison Research between XY and Odd-Even Routing Algorithm of a 2-Dimension 3X3 Mesh Topology Network-on-Chip.
- [8] S. D. CHAWADE, M. A. GAIKWAD & R. M. PATRIKAR, 2016– Review of XY Routing Algorithm for Network-On-Chip Architecture .

International Journal of Internet Computing ISSN No: 2231 – 6965,
VOL– 1, 6P.

[9] N. Karimi, A. Alaghi, M. Sedghi and Z. Navabi, 2008 – Online Networkon–Chip Switch Fault Detection and Diagnosis Using Functional Switch Faults” Journal of Universal Computer Science.

vol. 14, Issue no. 22.

[10] L. M. N. CHRISTOPHER J. GLASS, , 1992 – The Turn Model for Adaptive Routing. ACM digital library, East Lansing. 257P.

[11] Ming Li, Qing–An Zeng, Wen–Ben Jone, 2000, DyXY – A Proximity Congestion–Aware Deadlock–Free Dynamic Routing Method for Network on Chip,IEEE ,424P.

[12] U. o. S. UK, 2010 – NIRGAM: A Simulator for NoC Interconnect Routing and Application Modeling. [Online]. Available: nirgam.ecs.soton.ac.uk.

[13] J.SINGH , A. SWAIN, T. REDDY, K. MAHAPATRA, 2013 – Performance Evaluation of Different Routing Algorithms in Network on Chip . IEEE, 441P.

"دراسة وتصميم نموذج مصغر لجهاز محاكاة الاشعاع الشمسي وتحليل أدائه"

سمر خريزاتي* كريمة سكر** أحمد شرم***

*طالبة دراسات عليا (ماجستير) قسم نظم القدرة، كلية الهندسة الكهربائية والالكترونية، جامعة حلب
**أستاذة مساعدة في قسم نظم القدرة الكهربائية، كلية الهندسة الكهربائية والالكترونية، جامعة حلب
***أستاذ مساعد في قسم نظم القدرة الكهربائية، كلية الهندسة الكهربائية والالكترونية، جامعة حلب

الملخص

نظراً للحاجة الكبيرة لدراسة الطاقة الكهروضوئية وإجراء التجارب على الألواح الشمسية وفق ظروف العمل المخبرية المختلفة، قمنا بالبحث وإجراء الدراسة المرجعية لأجهزة المحاكاة الشمسية المستخدمة عالمياً. حيث تمت دراسة ومقارنة أنواع مختلفة من المصابيح الشائعة، وبناءً عليه تم تصميم نموذج مخبري محلي وبكلفة مناسبة مع كامل المعدات الأساسية والمهمة للحصول على مصدر ضوئي يحاكي لدرجة معينة ضوء الشمس الطبيعي. وبالاعتماد على هذا المصدر الضوئي تمكنا من القيام بدراسة تجريبية على نموذج كهروضوئي معدّ لدراسة واختبار حالات عمل مختلفة، مع القيام بتحليل النتائج وحساب مردود عمل النظام الكهروضوئي للنموذج المقدم.

الكلمات المفتاحية: جهاز المحاكاة الشمسية Solar simulator، كمين الإضاءة، الاشعاع الضوئي.

"Study and design a mini-model of solar radiation simulator and analyze its performance"

Samar Khrizaty* Karima Sukkar Ahmad Sharam *****

*Postgraduate Student (MSc.) Dept. Of Electrical Power Systems Engineering,
Faculty of Electrical and Electronic Engineering, University of Aleppo.

** Dept. Of Electrical Power Systems Engineering, Faculty of Electrical and
Electronic Engineering, University of Aleppo.

*** Dept. Of Electrical Power Systems Engineering, Faculty of Electrical and
Electronic Engineering, University of Aleppo.

Abstract

Due to the great need to study photovoltaic energy and conduct experiments on solar panels according to different laboratory working conditions, we have researched and referenced solar simulators used worldwide. Where different types of common lamps were studied and compared, and accordingly a local laboratory model was designed at an appropriate cost with all the basic and important equipment to obtain a light source that simulates to a certain degree the natural sunlight. By relying on this light source, we were able to conduct an experimental study on a photoelectric model designed to study and test different work cases, while analyzing the results and calculating the performance of the photoelectric system for the presented model.

Keywords: Solar simulator, Light case, light radiation.

المقدمة:

تعتبر دراسة وتطوير أنظمة الطاقة الشمسية من أهم الطرق لزيادة إنتاج الطاقة الكهربائية حالياً، وهو الذي تسعى إليه جميع الاتجاهات العالمية. وبما أنّ ضوء الشمس يتعرض لتغيرات كثيرة أثناء اليوم الواحد وأثناء الفصول، وأيضاً في المناطق التي تعاني من نقص الطاقة الشمسية الطبيعية، فإن استخدام جهاز المحاكاة الشمسية Solar simulator في المختبر بدلاً من العمل في الظروف الخارجية تحت ضوء الشمس يُمكن من القياس في ظروف غير محددة ومستمرة ولا تعتمد على ضوء الشمس أثناء النهار أو التغيرات الفصلية السنوية المختلفة، كما يُمكن من إعادة هذه القياسات والحصول على نتائج دقيقة، ويوفّر أيضاً إمكانية توسيع البحث بسبب قابلية الضبط لقدرة الخرج والطيف المنبعث.

يُعرّف المحاكى الشمسي solar simulator بأنه جهاز ينتج ضوءاً مماثلاً تقريباً لضوء الشمس الطبيعي. والغرض من هذا الجهاز هو إجراء الاختبارات تحت ظروف تشغيل معينة لكل من الخلايا الضوئية والخلايا الشمسية، كذلك اللدائن والواقيات الشمسية وغيرها من المواد الأخرى التي تحتاج للضوء الشمسي.

وعلى مدار التاريخ تم استخدام أجهزة المحاكاة الشمسية بشكل أساسي في أبحاث الخلايا الكهروضوئية والأبحاث الفضائية، وفي صناعة البلورات، واختبار المواد. المراحل التاريخية لتطور جهاز المحاكاة الشمسية:

في وقت مبكر من تطوير تقنية الخلايا الشمسية، تم اختبار أداء الخلايا الكهروضوئية في الهواء الطلق أو في الداخل باستخدام مصادر الضوء الاصطناعي التي تحتاج إلى معايرتها بواسطة الخلايا الكهروضوئية القياسية أو مقياس الحرارة. وحيث كانت الحاجة لمحاكي شمسي يمكنه توفير أساساً مشتركاً لمقارنة الخلايا الشمسية وأيضاً توفير بيانات لتصميم المصفوفات الكبيرة هو أمر مهم لتطوير الخلايا الكهروضوئية الشمسية. لذلك تم التعرف على حاجة الصناعة لاختبار الخلايا الشمسية والأجهزة الأخرى في ظروف محاكاة جيدة التحكم.

استخدم جهاز محاكاة الطاقة الشمسية الذي صممه Hoffman Electronics Corp

مزيجاً من مصباح قوس الزينون ومصباح التنغستن كمصدر للضوء، وكذلك المحاكي الذي طوره مختبر Optical Coating Laboratory. أيضاً قامت شركة Spectrolab Corp بتصنيع أجهزة محاكاة الطاقة الشمسية القياسية، والتي تستخدم طريقة مصادر الضوء المعدلة بواسطة المرشحات الضوئية منذ عام 1962 [1]. ويمكن أيضاً استخدام الغازات الخاملة لتعديل مصادر الضوء [2].

في بداية السبعينيات، وبسبب تطور صناعة الخلايا الكهروضوئية، أصبح وضع طريقة قياس قياسية (بما في ذلك جهاز محاكاة الطاقة الشمسية) أمراً ملحاً. ويمكن تلخيص أهمية الطريقة القياسية على النحو التالي [3]:

- تحديد أداء سلسلة من العينات من مصدر واحد.
 - مقارنة عينات من تصاميم مختلفة.
 - دراسة التغيرات الطارئة على أداء الجهاز بفترات زمنية مختلفة.
 - توفير بيانات تصميم النظم للمهندسين وخبراء التسويق.
- ولهذا السبب، تم وضع أول معيار لإجراء اختبار الخلايا الشمسية في عام 1975 [4]، والذي تم تحديثه في عام 1977 [5].

في عام 1978، بدأت أنشطة كتابة المعايير للوصول إلى طرق قياسية لقياس الأداء الكهربائي للأجهزة الكهروضوئية في اللجنة الفرعية المعنية بأنظمة الطاقة الكهروضوئية التابعة للجنة ASTM E-44 [3]. بعد عام واحد، تم أيضاً الرجوع إلى وثيقة لجنة المجتمعات الأوروبية التي تصف الأساليب الموحدة لقياس الأداء [6]. بعد فترة طويلة من الدراسة والاستشارة [7]، [8]، أصبحت سلسلة من معايير ASTM المنقحة متاحة أخيراً في عام 1985 [9]. حيث تم اعتبار جهاز محاكاة الطاقة الشمسية المرفق الرئيسي لنظام القياس الكهروضوئي في البحث أو الصناعة، وأن دقته ستؤثر بشكل كبير على خطأ القياس [7]، [10].

وبما أن خصائص مميزة العمل (I-V) لخلية PV تتسم بالحساسية للطيف والكثافة ودرجة الحرارة [11]، لذا فلا بد من البحث عن مصادر ضوء جديدة وتطوير نظام ضوئي أكثر دقة استناداً إلى المعايير الموضوعية. ثم كان التركيز الثاني لتصميم محاكي الطاقة

الشمسية الكهروضوئية هو خفض متوسط الطاقة وتقلب درجات الحرارة الناجم عن التعرض المطول للضوء [12]، [13]، والذي أمكن تحقيقه بالوصول لما يسمى المحاكي الشمسي النبضي. واستمر العمل البحثي للمحاكاة المتعددة المصادر، الذي كان يهدف إلى تطوير إنتاج طيف أكثر دقة [14]، [15]. مع التطور السريع لتقنية الصمام الثنائي الباعث للضوء (LED) في نهاية التسعينيات، تحولت أجهزة المحاكاة نحو مصدر الضوء الجديد هذا لما لها من مزايا هامة: انخفاض التكلفة، وصغر الحجم، وعمر التشغيل الطويل، وكفاءة الطاقة العالية [16]. لكن انخفاض كثافة الضوء يمثل المشكلة الرئيسية في تصاميم المحاكي الشمسية التي تقوم على المصدر الضوئي LED بشكل كامل [16] [17]. ونظراً للمزايا الفريدة التي يتمتع بها مصباح LED وتطوره السريع، فإن أجهزة المحاكاة الشمسية LED سوف تكون جديرة بالاهتمام وتصبح الجيل التالي من أجهزة المحاكاة الشمسية القياسية في المستقبل.

تستخدم أجهزة المحاكاة الشمسية أساساً لتقييم الخلايا الشمسية وكذلك لأنواع مختلفة من التطبيقات التي تحتاج إلى ضوء الشمس في ظروف محددة. التطبيقات الأكثر شهرة في استخدام Solar simulator [18]:

- دراسة النباتات تحت ظروف بيئية معينة (اختبار سلوك النباتات عند أطيايف إشعاعات مختلفة).
- قياس نفاذية الطاقة الكلية لمساحات كبيرة من الأجزاء المصنعة الشفافة والحواجز الشمسية.
- العلاج بأشعة الشمس في الطب.
- قياس قدرة الخلايا الشمسية، والألواح الشمسية.
- اختبار قدرة المجمعات الشمسية.
- اختبار معدل تباطؤ إنتاجية الخلايا الشمسية بمرور الزمن.

ولكن في الغالب إنّ هذه الأجهزة تحتاج إلى كلفة عالية في تصنيعها وتشغيلها وصيانتها، وكذلك صعوبة في الحصول على جهاز اصطناعي يُنتج طيفاً مماثلاً لطيف الشمس.

أهمية البحث:

اعتماداً على الدراسات المقدمة والتصاميم السابقة لجهاز المحاكاة الشمسية تم في هذا البحث تصميم وتصنيع نموذج مصغر محلي الصنع لمحاكاة الإشعاع الشمسي بتكلفة منطقية ومقبولة حسب الإمكانيات المتوفرة في سوريا. يسمح هذا النموذج بالمحاكاة وفق درجات مختلفة من الإشعاع وكذلك على بعد متغير ويزوايا مختلفة لتوضع اللوح الكهروضوئي، ليتم بذلك احتواء ودراسة كافة الحالات الممكنة.

طريقة البحث:

- 1- دراسة تحليلية لجهاز المحاكاة الشمسية والأجزاء الأساسية التي يتكون منها.
 - 2- دراسة تحليلية للأطياف الضوئية لمصابيح مختلفة ومقارنتها مع الطيف الضوئي للشمس.
 - 3- تصميم الكيبين وملحقاته بالحجم المناسب ودراسة تجريبية لتوزيع المصابيح المستخدمة ضمنه للحصول على الإشعاع الضوئي الأنسب للعمل بشكل أمثل.
 - 4- تحليل النتائج من استخدام هذا النموذج المحلي الصنع.
- وفق المعايير IEC 60904-9 Edition 2 و ASTM E927-10 يقيم الضوء الصادر من المحاكي الشمسي بثلاثة أبعاد [18]:

- نوع الطيف.
- التوزيع المساحي الضوئي.
- الاستقرار الزمني.

حيث يتم تصنيف كل بُعد في إحدى الفئات الثلاث: A, B, C. ويتم تحديد المواصفات المطلوبة لكل فئة في الجدول (1). حيث يُشار إلى جهاز محاكاة الطاقة الشمسية الذي يفي بمواصفات الفئة A في جميع الأبعاد الثلاثة بالمحاكي الشمسي من الفئة A، أو أحياناً فئة AAA (بالإشارة إلى كل من الأبعاد بالترتيب المذكور أعلاه) ويبين الشكل (1) المحاكي الشمسي AAA [18].

جدول (1): مواصفات الفئة ASTM

التصنيف	مماثلة الطيف الطبيعي (لكل مرحلة)	عدم التماثل المكاني للاشعاع	عدم الاستقرار الزمني
Class A	0.75–1.25	2%	2%
Class B	0.6–1.4	5%	5%
Class C	0.4–2.0	10%	10%



الشكل (1): المحاكى الشمسي المخبري فئة AAA

تقسم أجهزة المحاكاة الشمسية إلى ثلاث فئات: مستمرة، ومآضة، ونبضية [19].
النوع الأول: هو شكل مألوف لمصدر الضوء تكون فيه الإضاءة مستمرة. غالباً ما تُستخدم هذه الفئة للاختبار منخفض الكثافة، بدءاً من أقل من شمس واحدة وحتى عدة شمس. يتم تعريف الشمس الواحدة عادةً على أنها الكثافة الاسمية الكاملة لضوء الشمس في يوم صافٍ ساطع على الأرض، والذي يقاس بـ 1000 W/m^2 . قد تحتوي المحاكيات الشمسية للضوء المستمر على عدة أنواع مختلفة من المصابيح مجتمعة (مثال، مصدر قوس واحد ومصباح هالوجين أو أكثر) لتمديد الطيف قدر أكبر في الأشعة الحمراء.
النوع الثاني: هو المحاكاة الوامضة التي تشبه نوعياً التصوير بالفلاش. مع فترات

نموذجية تصل إلى عدة أجزاء من الألف من الثانية، يمكن أن تكون الشدة عالية جدًا تصل إلى عدة آلاف وحدة شمسية. غالبًا ما يستخدم هذا النوع لمنع ازدياد درجة الحرارة للجهاز الذي يتم اختباره. ومع ذلك، نظرًا للتسخين والتبريد السريع للمصباح، فإن شدة وطيف الضوء عابران بطبيعتهما، مما يجعل الاختبار الصحيح المتكرر أكثر صعوبة من الناحية الفنية. لا ينطبق بُعد الاستقرار الزمني للمعيار بشكل مباشر على هذه الفئة من أجهزة محاكاة الطاقة الشمسية، على الرغم من أنه يمكن استبداله بمواصفات تكرر مماثلة من لقطة إلى لقطة.

النوع الثالث من أجهزة محاكاة الطاقة الشمسية هو المحاكي النبضي، والذي يستخدم مفتاحاً لحجب أو إلغاء الضوء من مصدر مستمر. هذه الفئة عبارة عن حل وسط بين المستمر والفاش، مع وجود عيوب في الاستخدام العالي للطاقة وكثافة منخفضة نسبيًا لأجهزة المحاكاة المستمرة، ولكنها تتميز بثبات كل من كثافة الخرج وشدة الطيف. كما توفر مدة الإضاءة القصيرة أيضًا فائدة الأحمال الحرارية المنخفضة.

تتكون مصادر الإضاءة المتوفرة تجاريًا من المصباح، الذي يكون قلب الجهاز بالكامل، والكيبين الذي يحتوي على عاكس، والبصريات ونظام التبريد، وأخيرًا مصدر الطاقة [20].

الأجزاء الأساسية للمحاكي:

• المصدر الضوئي

يعتبر اختيار مصدر الضوء المناسب لمحاكاة ضوء الشمس وشدته أهم عمل لتصميم محاكي الطاقة الشمسية. يتم فحص مصدر الضوء لمحاكاة الإشعاع الشمسي وفق مايلي [20]:

- الصفات الطيفية.
- توحيد الإضاءة.
- توازي الحزم الإشعاعية.
- استقرار التدفق.
- مدى التدفق الذي يمكن الحصول عليه.

في تاريخ المحاكاة الشمسية، تم اقتراح العديد من المصاييح، والتي يمكن إدراجها على

النحو التالي: مصباح القوس الكربوني، مصباح القوس الهاليدى المعدني، مصباح الهالوجين تنغستن الكوارتز، مصباح القوس الزينون، مصباح الزينون الزيتيقي، مصباح القوس الأرجون ومصباح الصمام الثنائي الباعث للضوء(LED).

• مركز الأشعة أو المجمع

نظراً لحقيقة أن مصادر الضوء المستخدمة في المحاكيات الشمسية هي مصادر تقريباً خطية، يتم تطبيق الأنظمة الضوئية عادة للحصول على توزيع التدفق المطلوب في الاختبار. المركز الضوئي هو المكون الضوئي الرئيسي لكل نظام محاكاة شمسي، خاصة لمحاكيات الطاقة الشمسية عالية التدفق. وظائفها الرئيسية هي [21]:

- العمل كمجمع لتجميع الإشعاع الضوئي المختلف الاتجاه المنبعث من مصدر الضوء ووضعه في الاتجاه المطلوب.

- زيادة كثافة تدفق الطاقة الضوئية لتلبية المتطلبات.

في تاريخ تصميم المحاكي الشمسي، تم اختيار العاكس الإهليلجي، المكثف المكافئ المركب (CPC)، المخروط الضوئي، المكثف الزائد، مكثف القطع المكافئ وعدسة فريسنل في تصميمات محاكاة شمسية مختلفة.

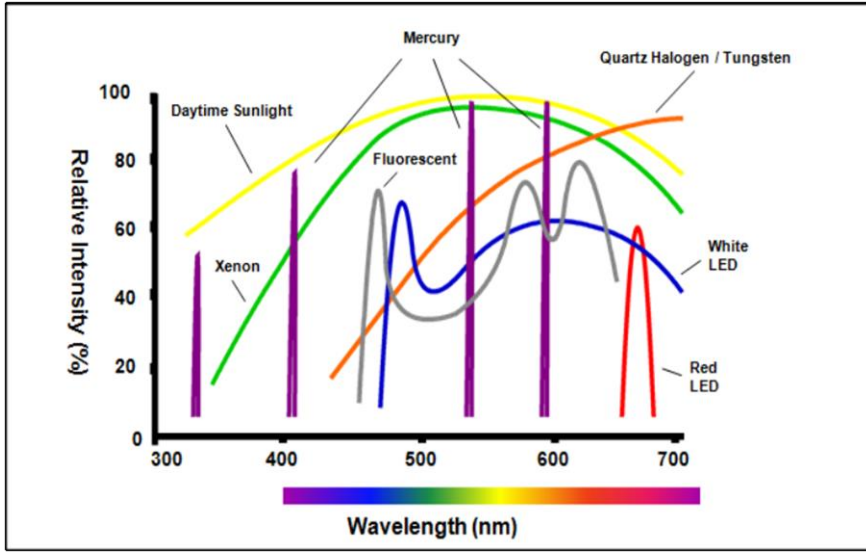
تصميم جهاز المحاكاة التجريبي المحلي:

• اختيار المصدر الضوئي المناسب:

اعتماداً على دراسات ومراجع متعددة تمت دراسة الأطياف الضوئية لعدد من المصابيح المختلفة وتحديد مزايا ومساوئ استخدام كلاً منها ضمن جهاز المحاكاة الشمسية، حيث كان اختلاف عمل المصابيح عن بعضها بعدد من النقاط الأساسية: الطيف المتباين، توزيع الأشعة، الكفاءة والقضايا التشغيلية الخاصة لكل نوع من المصابيح.

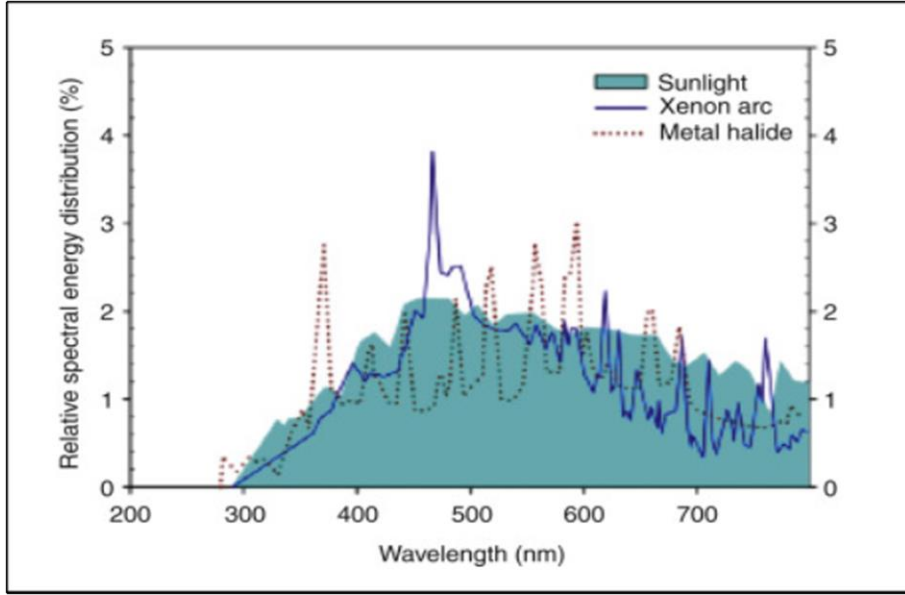
ويعد اختيار نوع المصباح النهائي هو الجزء الأهم من التخطيط النهائي لتصميم المحاكي المطلوب.

تبين الأشكال (2,3) مقارنة بين الكثافة الضوئية النسبية للشمس مع أنواع المصابيح المختلفة مقابل المحتوى الطيفي لكل مصدر ضوئي.



الشكل (2): الكثافة النسبية لمصدر الضوء مقابل المحتوى الطيفي.

يشير الشريط الموجود في الأسفل إلى النطاق التقريبي لطول الموجة المرئي للإنسان.



الشكل (3): الكثافة النسبية لمصباح الزينون والميتال هاليد مقابل المحتوى الطيفي.

مصباح Xenon arc lamp:

نلاحظ من الشكلين (2,3) أن مصباح قوس الزينون هو الخيار الأول لمصدر الضوء

بسبب خصائصه الطيفية المستقرة في توفير استمرارية ممتازة في الأشعة فوق البنفسجية وعبر النطاق المرئي. ميزة أخرى لمصباح الزينون هي أن التباين في الطاقة لا يسبب أي تحول ملموس في توازنه الطيفي. هذا يقلل من متطلبات استقرار التيار الكهربائي [22]. علاوة على ذلك، يمكن أن توفر مصابيح الزينون ذات القوس القصير والضغط العالي مصدرًا أكثر إشراقًا من مصادر الضوء الأخرى، وهو أمر مطلوب لإنتاج شعاع ضوئي عالي الكثافة متوازي [23]. ومع ذلك، فإن مصابيح الزينون لها عيوبها الكامنة التي تحد من تطبيقها في جميع أنواع المحاكاة الشمسية:

- يتطلب مصباح الزينون مصدر طاقة أكثر تعقيدًا وباهظ التكلفة مما يجعله أعلى مصدر إضاءة تجاري تقريبًا.
- يبلغ ضغط غاز الزينون في مصباح الزينون حوالي 10 بار ويمكن أن يصل إلى 40 بار أثناء تشغيله، مما يسبب مخاطر أمنية عالية.
- تتحول قمع الإشعاع بعيدًا قليلًا عن الأشعة فوق البنفسجية إلى الأشعة تحت الحمراء مع تقدم عمر المصباح [22]، [23]، [24].

نظرًا لهذه المزايا والعيوب، في تصميم أجهزة محاكاة الطاقة الشمسية الحديثة التي لها متطلبات طيف وكثافة منخفضة، فإن مصباح الكوارتز تنغستن هالوجين ومصباح القوس الهاليد المعدني متفوقان على مصباح الزينون. خلاف ذلك، سيكون مصباح الزينون هو الخيار الأول.

مصباح قوس هاليد المعدني Metal Halide arc lamp :

نلاحظ من الشكل (3) أن مصابيح الهاليد تنتج طيفاً متطابقاً بشكل كبير مع ضوء الشمس الطبيعي في منطقة الأشعة فوق البنفسجية ومناطق الضوء المرئي. كما تتمتع هذه المصابيح بفعالية عالية في الإضاءة والتي تزيد عن 90 Lumen/Watt، والتوازن الجيد في الصفات الطيفية، بالإضافة إلى العمر الطويل (> 1000 ساعة) والتكلفة النسبية غير المكلفة [25]. ولكن هناك عيب رئيسي لهذا المصباح وهو انخفاض جودة التوازي للحزم الإشعاعية مما يجعله مستخدماً في المحاكاة الكهروضوئية والشمسية التي تحتاج فقط لإضاءة ثابتة وخصائص طيفية أقل دقة [23]، [26].

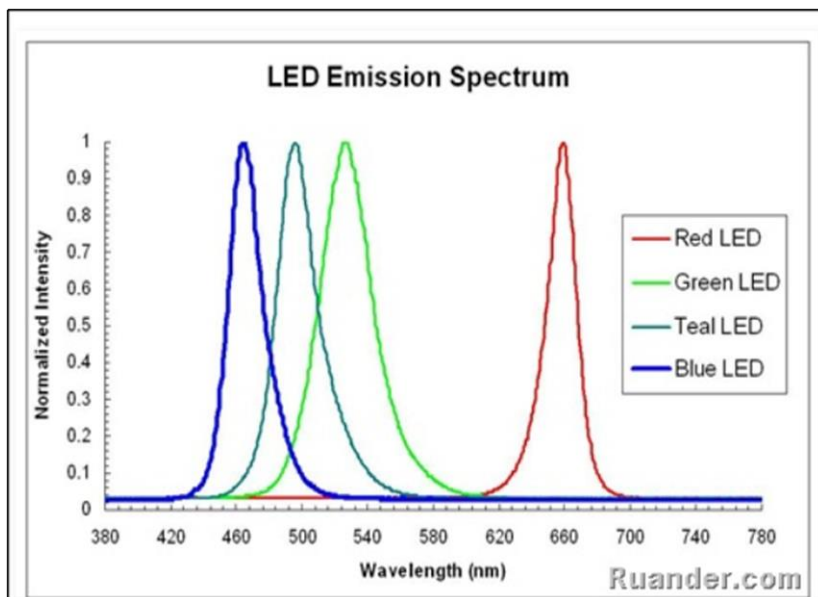
الصمامات الثنائية الباعثة للضوء LEDlight-emitting diodes :

يظهر الشكل (2) أن هذا النوع يملك طيف خرج أحادي اللون (أحمر، أخضر، أزرق) ضيق نسبياً كما يبين في الشكل (4) باستثناء مصابيح LED البيضاء. وبحسب الدراسات فإن هذه الصمامات تقدم الوعد بإنتاج الطاقة بكفاءة عالية لأجهزة المحاكاة الشمسية الاصطناعية في المستقبل. تتمتع مصابيح LED بالعديد من المزايا مقارنة بمصادر الإضاءة التقليدية المستخدمة في المحاكيات الشمسية:

- يمكن التحكم في مصابيح LED بسرعة كبيرة في غضون ميكروثانية وتشغيلها بشكل ثابت عند شدة خرج ضوء واحدة بشكل مستمر لفترة طويلة.
- تتوفر مجموعة متنوعة من الألوان والأطوال الموجية، مما يعني أن الجمع بين عدد من الألوان المطلوبة يمكن الحصول على AM0 أو AM1.5 أو AM2 أو طيف خاص آخر.
- مع تطوير مصابيح LED عالية الطاقة، تتوفر مصابيح LED ذات كثافة إضاءة 1000 W/m^2 ، ومن المتوقع أن تكون مصابيح LED ذات كثافة أعلى في المستقبل.
- تتمتع مصابيح LED بعمر طويل جداً يصل إلى 50000 إلى 100000 ساعة بشكل عام، مما يعني أنها لا تعوض فقط التكلفة العالية لكل شدة إضاءة ولكن أيضاً تقلل من تكلفة الصيانة إلى الحد الأدنى.
- أكثر إحكاماً وتوفير الطاقة، على عكس المحاكيات الشمسية من نوع مصابيح الزينون ذات الحجم الكبير.
- يمكن تصميم جهاز محاكاة الطاقة الشمسية LED بشكل مضغوط للغاية بسبب مصدر الضوء العالي الكفاءة، والأجهزة الإلكترونية الأقل وبدون مكثف حجم كبير [27]، [28]، [29].

ومع ذلك، فإن LEDs لها أيضاً عيوبها الكامنة: الأول هو أن طاقة خرج ضوء LEDs وكفاءتها وعمرها تنخفض بشكل حساس مع ارتفاع درجة حرارة التشغيل. لذا فإن نظام التبريد الجيد ضروري، لكن هذا يقلل من كفاءة الإخراج أيضاً. كذلك، لا تزال شدة

الضوء لمصابيح LED منخفضة جداً لتصميم محاكاة الطاقة الشمسية. باختصار، تظهر مزايا مصابيح LED أنها تفوق عيوبها وتجعلها مصدر ضوء مرشحاً مثاليًا لتصميم محاكاة الطاقة الشمسية المتقدمة في المستقبل، على الأقل لمحاكاة الطاقة الشمسية من النوع غير المركز.



الشكل (4): يبين طيف الانبعاث لألوان الصمامات الثنائية الباعثة للضوء.

مصابيح الكوارتز الهالوجين التنجستن QTH quartz tungsten halogen lamps :

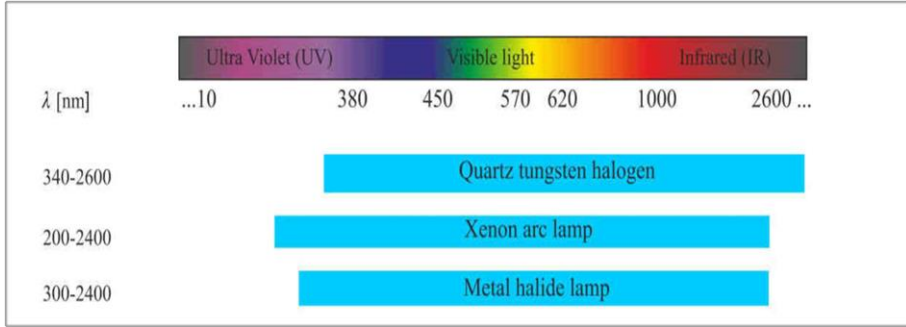
يظهر الشكل (2) تشابه كبير بين الخصائص الطيفية لمصابيح الكوارتز الهالوجين التنجستن مع ضوء الشمس الطبيعي، حيث أطيفها تطابق بشكل وثيق للغاية إشعاع الجسم الأسود. وتمتاز هذه المصابيح بعدة مميزات [25]:

- تكون ذات درجة حرارة ألوان أقل من درجة حرارة الشمس.
- متوفرة بشكل غير مكلف (أرخص بكثير من مصابيح قوس الزينون والميتال هاليد).
- تمتاز بسهولة الصيانة.
- الضوء الناتج عنها ذو اتساق ممتاز.

لذا تكون هذه المصابيح شائعة على نطاق واسع للاستخدام التجاري، الإضاءة المحلية، وصناعة السيارات، المحاكيات الشمسية وخاصة ذات متطلبات الطيف الأقل (محاكاة الطاقة الشمسية لاختبار المجمعات والألواح الشمسية).

مصباح زينون الزئبقي Mercury xenon lamp:

إن مصابيح الزينون الزئبقية هي نوعاً آخر من مصادر الضوء المستخدمة على نطاق واسع في المحاكيات الشمسية الفضائية المبكرة إلا أن استخدام المحاكي الشمسي بمصباح الزينون الزئبقي يمكن أن يؤدي إلى انفجار المصباح وانتشار بخار الزئبق، لذلك غالباً يتم استبدال مصابيح الزينون الزئبقية بمصباح الزينون القوسي كخيار أول لمصدر الضوء [30].



الشكل (5): نطاق الطيف المنبعث لثلاثة أنواع من المصابيح المعروضة: هالوجين التنجستن كوارتز والهاليد المعدنية ومصباح قوس الزينون.

من خلال الدراسة السابقة، وبالمقارنة بين مصابيح الزينون ومصابيح الهاليد المعدنية والهالوجين التنجستن وLEDs، نجد أن هالوجين التنجستن الكوارتز يمكن استخدامها في تصميم المحاكي التجريبي نظراً لخصائصها الأنسب وتوفرها محلياً وسعرها المناسب. في الجدول (2) التالي يتم عرض مواصفات مصابيح الهالوجين تنجستن المتوفرة عالمياً.

الجدول (2): مواصفات مصابيح الهالوجين تنغستن حسب استطاعتها.

Double Ended Tungsten Halogen Lamps					
Watts	Bulb	Lighted Length (in)	Life	Lumens	Lumens/Watt
300	T2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{8}$	2000	6000	20
300	T4	5 $\frac{1}{8}$	2500	5000	16.7
400	T4	5 $\frac{1}{8}$	2000	7500	18.8
500	T3	2	2600	10000	20
1000	T3	6 $\frac{3}{4}$	2000	21500	21.5
1000	T6	1 $\frac{1}{8}$	2000	22000	22
1500	T3	6 $\frac{3}{4}$	3000	29000	19.3

Single Ended Tungsten Halogen Lamps					
Watts	Bulb	Lighted Length (in)	Life	Lumens	Lumens/Watt
100	T4	1 $\frac{1}{8}$	1000	1900	19
150	T4	1 $\frac{1}{2}$	2000	2600	17.3
250	T4	1 $\frac{3}{8}$	2000	5000	20
500	T4	2	2000	9500	19

وعند إجراء التجارب باستخدام مقياس شدة الإشعاع الضوئي Lux meter على أنواع مختلفة من المصابيح المتوفرة وبعد ثابت عن المقياس (23 cm) كانت قيمة الإشعاع التي حصلنا عليها من مصابيح الهالوجين هي الأفضل مقارنة مع مصابيح الفلوريسانت، والمصابيح المدمجة، والمصباح الأحمر Ultra violet، وLED وكذلك حساسية مقياس الأمبير عند توجيه هذا الإشعاع على لوح كهروضوئي باستطاعة 30 W كانت أيضاً الأعلى بالنسبة لمصابيح الهالوجين، وتم الحصول على النتائج التالية:

- مصباح هالوجين تنغستن وهاج نوع تجاري باستطاعة 500 W أعطى كثافة إشعاع تساوي 11000 Lux ولكن قيمة تحسس مقياس الأمبير عند توجيه هذا الإشعاع على لوح كهروضوئي باستطاعة 30 W كانت 400 mA.
- مصباح هالوجين تنغستن وهاج نوع جيد باستطاعة 500 W أعطى كثافة إشعاع

تساوي 13000 Lux ولكن قيمة تحسس مقياس الأمبير عند توجيه هذا الإشعاع على لوح كهروضوئي باستطاعة 30 W كانت 700 mA. حسب القيم السابقة فإن استخدام مصباح الهالوجين 500 W من النوع الجيد هو الأنسب من حيث قيمة الإشعاع العالية والمناسبة لغرض الاختبار، ومن حيث قراءة مقياس الأمبير الناتجة عن هذا الإشعاع لذلك تم اعتمادها في تصميم المحاكى الشمسي. من أجل الحصول على الإشعاع المناسب لدراسة اللوح الكهروضوئي 30 Watt وبالتالي للوصول لقيمة مناسبة لتيار خرج اللوح قمنا بزيادة عدد المصابيح فكان الأنسب استخدام ستة مصابيح من نفس النوع، وكذلك فإن اختيار طريقة توضع هذه المصابيح ضمن الكبين تم بعد إجراء عدة مناورات للحصول على أكبر قيمة للتيار الناتج عن اللوح الكهروضوئي. وفي الشكل (6) نوضح كيفية اتخاذ وضعية المصابيح الأمثلية لهذه التجربة.



الشكل (6): يبين الشكل الأولي لتوضع مصابيح الهالوجين في النموذج.

كانت قيمة الإشعاع بواسطة Lux meter لستة مصابيح هالوجين ذات نوع جيد تساوي

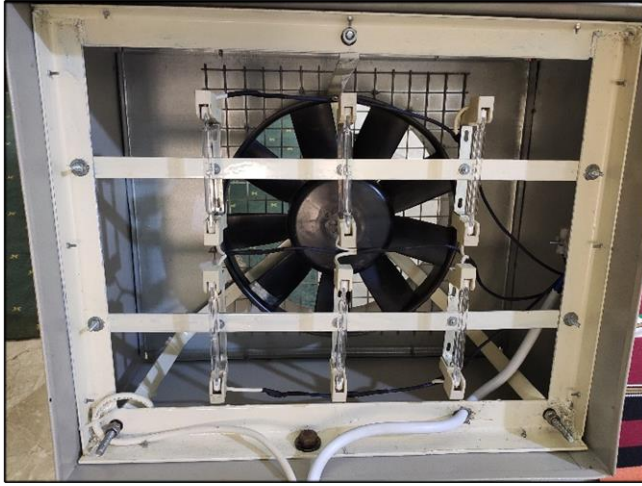
(68000 Lux) وباستخدام العلاقة (1) يتم تحويل الواحدة:

$$0.0079 * \text{Lux} = \text{W/m}^2 \quad (1)$$

$$68000 \text{ Lux} * 0.0079 = 537.2 \text{ W/m}^2$$

• تصميم الكبين الحديدي:

تم تصميم الكبين الحديدي ليحتوي المصدر الضوئي أساساً وكذلك بقية العناصر المهمة. كذلك، تم تحديد الأبعاد المناسبة للكبين كما يلي (طول 55 cm، عرض 45 cm، ارتفاع 30 cm). يثبت جسر المصابيح ضمنه ويوضع على عمق 5 cm فيساعد ذلك بتركيز الاشعاع الناتج عن المصابيح وتجميعه. يوضح الشكل (7) الكبين وجسر المصابيح المثبت ضمنه.



الشكل (7): يبين محتوى كبين الإضاءة الداخلي.

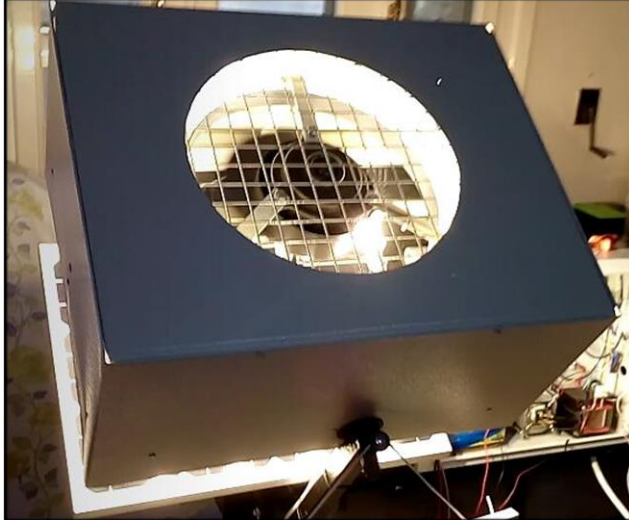
تتم تغذية كبين الإضاءة من الشبكة العامة AC-220 V لتقوم بسحب تياراً ما يقارب 15A.

ونظراً لكمية الاشعاع الساقط على اللوح المقابل للكبين لابد من الأخذ بعين الاعتبار قيمة درجة حرارة النقطة السوداء للخلايا الكهروضوئية (Black-Hotspot) لذلك، تم وضع حساس خاص لقياس درجة الحرارة بحيث تم تثبيته على الوجه الخلفي للوح وفي منتصفه، كما تم تركيب مروحة مناسبة للتبريد ضمن الكبين الحديدي.

مواصفات مروحة التبريد:

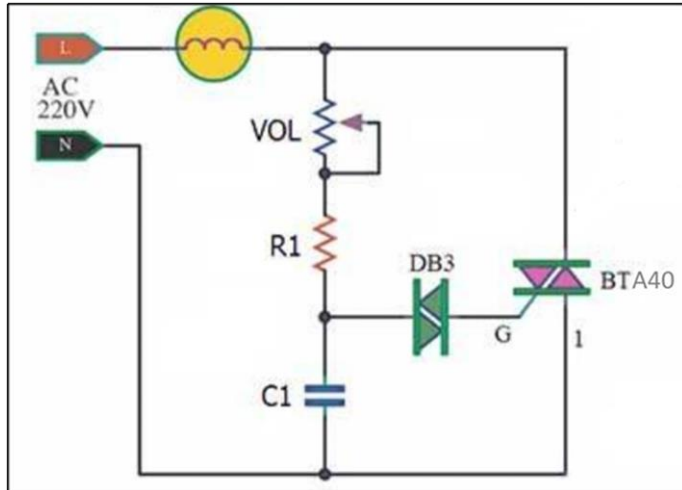
مروحة تيار مستمر سريعة وكبيرة 12 V وباستطاعة 120 W تستجر حوالي 8 A تتم تغذيتها من محول خاص 220/13.7 V متناوب وباستخدام جسر التقويم مع المبرد يتم تحويل التيار إلى مستمر. يوضح الشكل (8) توضع مروحة التبريد ضمن الكبين وتتم

تغطيتها بشبك لحماية المستخدم.



الشكل (8): يبين مروحة التبريد مع شبك الحماية.

ومع الحاجة لتغيير شدة الإشعاع الضوئي الساقط على اللوح الكهروضوئي المدروس تم ربط مجموعة المصابيح إلى دائرة مغير الشدة (Dimmer circuit) لقيادة المصابيح الستة عن طريق التحكم בזاوية القذح يتم تغيير قيمة الجهد وبذلك شدة الإضاءة، كما يتم إضافة مبرد لهذه الدارة نظراً لقيمة تيار الإضاءة العالية. يوضح الشكل (9) دائرة عمل ال Dimmer ومكوناتها الأساسية.



الشكل (9): يبين الدارة الأساسية لمغير الشدة الضوئية.

تتألف الدارة من تريك استطاعي بتيار عالي 40 A يتم التحكم בזاوية القذح له عن طريق الدياك والمقاومة المتغيرة لكلا الموجتين الموجب والسالب ليتم بذلك التحكم بشدة الإضاءة تدريجياً.

تطبيقات البحث ونتائجه:

تم تصميم نموذج مصغر لملاحقة نقطة الاستطاعة الأعظمية ومحاكاة الحالات الممكنة لتغير التوضع والزوايا بين اللوح الكهروضوئي المستخدم والمحاكي الشمسي كما في الشكل (10) التالي:



الشكل (10): يبين الشكل العام للنموذج المصغر.

الأجزاء الأساسية:

1. لوح الخلايا الشمسية.
2. منظم الشحن PWM.
3. كيبين الإضاءة الحديدي.
4. القاعدة الحديدي.

5. محرك DC مع ذراع.

6. الواجهة التفاعلية للنموذج.

وفي هذا التصميم كان كيبين الإضاءة المصمم هو العنصر الأساسي الذي ساهم في الوصول لغاية النموذج المصمم، واستطعنا من خلاله ومن خلال مكوناته البسيطة المتوفرة الحصول على إشعاع ضوئي مناسب للوصول إلى استرجار التيار الاسمي من اللوح الكهروضوئي النموذجي المستخدم.

ولهذا التصميم العديد من درجات الحرية بحيث يمكن من استيفاء جميع الحالات الممكنة لتوضع اللوح بالنسبة لمصدر الإشعاع الضوئي:

1- تغيير بعد الكيبين عن اللوح.

2- تغيير زاوية ميل الكيبين عن اللوح على محور Y.

3- تغيير اتجاه الكيبين بتثبيت اللوح.

4- حركة اللوح الكهروضوئي على محور X.

5- حركة اللوح الكهروضوئي على محور Y بتثبيت الكيبين.

المواصفات الاسمية للوح الكهروضوئي المدروس:

$W_{mp} = 30 W$ الاستطاعة عند نقطة الاستطاعة العظمى.

$V_{mp} = 17.3 V$ الجهد عند نقطة الاستطاعة العظمى.

$I_{mp} = 1.73 A$ التيار عند نقطة الاستطاعة العظمى.

$V_{OC} = 21.5 V$ جهد الدارة المفتوحة.

$I_{SC} = 1.86 A$ تيار الدارة المقصورة.

$T -40 C^{\circ}$ to $+85 C^{\circ}$ درجات الحرارة المناسبة للتشغيل.

Power tolerance 0/+5% القيم الاحتياطية المسموحة للعمل ضمنها.

فيما يلي نعرض دراسة الحالة الأعظمية للاستطاعة الناتجة:

أولاً: المحاكى الشمسي عمودياً على اللوح الكهروضوئي وعلى بعد 23 cm منه ومغير

الشدة الضوئية Dimmer مضبوطاً على القيمة العظمى

من أجل هذه الظروف المحيطة كانت قيمة الإشعاع الضوئي الساقط على اللوح

الكهروضوئي تبلغ حسب العلاقة (1)

$$68000 \text{ Lux} * 0.0079 = 537.2 \text{ W/m}^2$$

وكانت قيمة خرج اللوح الكهروضوئي بالنسبة للجهد والتيار وتيار القصر

$$V = 13 \text{ V}$$

$$I = 1.27 \text{ A}$$

$$I_{sc}=1.6 \text{ A}$$

وكذلك قيمة حساس الحرارة للوح الكهروضوئي كانت 80°C

وبذلك تحسب استطاعة الخرج من العلاقة (2)

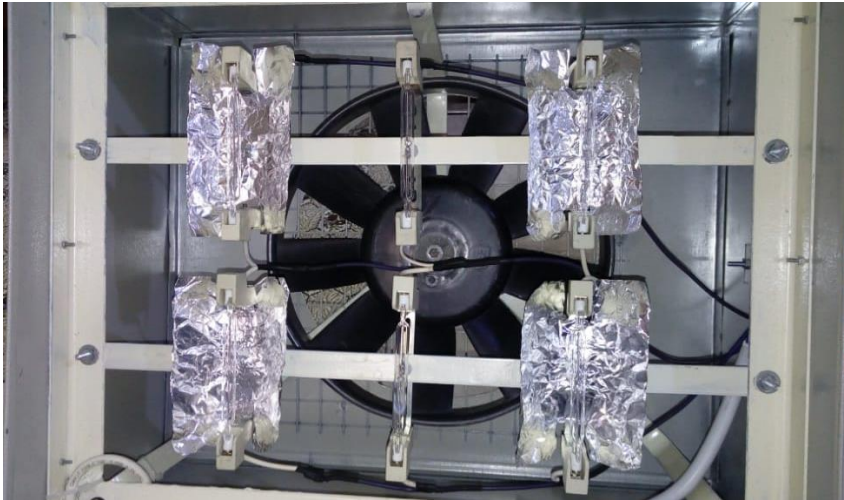
$$P=V*I \quad (2)$$

$$P_{out} = 13 * 1.27 = 16.51 \text{ W}$$

ثانياً: المحاكى الشمسي عمودياً على اللوح الكهروضوئي وعلى بعد 23 cm منه ومغير

الشدة الضوئية Dimmer مضبوطاً على القيمة العظمى مع وجود عواكس

تمت في هذه الحالة إضافة عواكس من الألمنيوم لأربع مصابيح من كبين الإضاءة بهدف زيادة شدة الإشعاع الناتج حيث تم وضع شرائح من الألمنيوم خلف مصابيح الزوايا الأربعة مع مراعاة عدم وضع هذه العواكس للمصابيح الواقعة في الوسط أخذين بعين الاعتبار المحافظة على درجة الحرارة في منتصف اللوح المدروس والتي تتركز فيها الشدة الضوئية وبالتالي الحرارة، يبين الشكل (11) توضع العواكس ضمن الكبين:



الشكل (11): يبين عواكس الألمنيوم خلف المصابيح.

فكانت النتيجة ارتفاع في قيمة الإشعاع لتبلغ حسب العلاقة (1)

$$78000 \text{ Lux} * 0.0079 = 616.2 \text{ W/m}^2$$

وكانت قيمة خرج اللوح الكهروضوئي بالنسبة بالنسبة للجهد والتيار وتيار القصر

$$V = 13.4 \text{ V}$$

$$I = 1.78 \text{ A}$$

$$I_{sc} = 2 \text{ A}$$

وكذلك قيمة حساس الحرارة للوح الكهروضوئي كانت 83°C

وبذلك تحسب استطاعة الخرج من العلاقة (2)

$$P_{out} = 13.4 * 1.78 = 23.852 \text{ W}$$

حساب مردود عمل اللوح الكهروضوئي لحالة الاستطاعة العظمى بوجود العواكس:

أبعاد اللوح المستخدم في النموذج ($0.4 \text{ m} * 0.52 \text{ m}$) فتكون مساحة السطح للوح:

$$S = L * W$$

$$S = 0.4 \text{ m} * 0.52 \text{ m} = 0.208 \text{ m}^2$$

وإن قيمة الإشعاع في هذه الحالة تساوي حسب العلاقة (1):

$$0.0079 * 78000 \text{ Lux} = 616.2 \text{ W/m}^2$$

تساوي: فتكون قيمة الاستطاعة الساقطة على اللوح

الاستطاعة P_{in} = قيمة الإشعاع الساقط على اللوح * مساحة اللوح

$$P_{in} = 616.2 \text{ W/m}^2 * 0.208 \text{ m}^2 = 128.16 \text{ W}$$

قيمة الاستطاعة الخارجة من اللوح في هذه الحالة:

$$P_{out} = V * I = 13.4 \text{ V} * 1.78 \text{ A} = 23.852 \text{ W}$$

قيمة المردود:

$$\text{Efficiency} = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{23.852}{128.16} = 0.18$$

وقد تمت مقارنة القيم الناتجة عن المحاكى المصنع مع قيم الإشعاع المقاس في محطة

الرصد (مركز البيئة) للإشعاع الشمسي الحقيقي لمدينة حلب فكانت القيم منطقية

ومناسبة بالنسبة لمحاكي يعمل تحت الظروف المخبرية وفي جميع الأوقات ويمكن زيادة

قيمة الإشعاع بالتقريب أو زيادة عدد العواكس ولكن في حالة اللوح المعتمد للدراسة فإن

القيم الناتجة كافية والجدول (3) يبين نتائج المقارنة:

الجدول (3): مقارنة قيمة الاشعاع لحالات متعددة.

أعلى قيمة للإشعاع W/m ²	أعلى قيمة للإشعاع Lux	الشهر	المصدر
1050	132900	أب	محطة الرصد الساعة 12.30 ظهراً
980	124000	تموز	محطة الرصد الساعة 12.30 ظهراً
948	120000	تموز	تجريبي باستخدام مقياس Lux meter للأشعة الشمسية المباشرة على السطح الساعة 12.30 ظهراً
700	88600		تجريبي باستخدام مقياس Lux meter لجهاز المحاكاة عند القيمة العظمى ويبعد 20 cm عن اللوح المدروس
616	78000		تجريبي باستخدام مقياس Lux meter لجهاز المحاكاة عند القيمة العظمى ويبعد 23 cm عن اللوح المدروس مع إضافة عواكس
537	68000		تجريبي باستخدام مقياس Lux meter لجهاز المحاكاة عند القيمة العظمى ويبعد 23 cm عن اللوح المدروس

مناقشة نتائج البحث:

- 1- تم بواسطة هذا النموذج المصغر ومن خلال الإشعاع الناتج عن كبين الإضاءة (مصابيح الهالوجين تتغستين) توليد قيمة تيار من اللوح الكهروضوئي المستخدم مساوية لقيمة التيار الاسمي.
- 2- تم الحصول على مردود عمل لهذا النموذج بقيمة جيدة ومناسبة.
- 3- تم الحصول على حالات خاصة حيث أمكن الوصول لقيمة إشعاع أعلى وذلك إما بتقريب الكبين من اللوح أو بزيادة عدد العواكس خلف المصابيح داخل الكبين ولكن هذه الحالة غير مرغوبة للعمل بالنسبة للوح الكهروضوئي المدروس، فعند تقريب الكبين من اللوح (البعد 20 cm) تم استرجار قيمة تيار أعلى من التيار الاسمي حيث وصلت قيمة التيار إلى 2 A وقيمة حساس الحرارة هنا تجاوزت 92 C° وقيمة

تيار القصر 2.2 A وحسب الشروط والقيم الاحتياطية لا يجب تجاوز هذه القيم أو العمل عندها لفترة معينة حرصاً على سلامة اللوح الكهروضوئي.

التوصيات:

- 1- إضافة أطيف أخرى من مصادر الضوء (ضوء زينون خاص، اللون الأحمر، اللون الأصفر، اللون الأخضر ومصادر الأشعة تحت الحمراء....) التي تمتلك أطوال موجات مختلفة لنحصل على اشعاع أقرب ما يمكن لأشعة الشمس الطبيعية.
- 2- الاستعاضة عن المروحة ذات الصوت العالي بالتبريد عن طريق الماء بطريقة فنية معينة (مضخة مع حاجز مائي ملاصق للواجهة) أو أي طريقة تبريد أخرى.
- 3- إضافة حساس تحليل الطيف الضوئي لقراءة حزمة الطيف الضوئي الساقط على اللوح.
- 4- العمل لتعديل شكل الكبين لشكل مخروطي بسطح عاكس كامل وبذلك زيادة في تركيز الإشعاع الصادر عن المصدر الضوئي وتقليل بذلك استطاعة المصدر الضوئي ولكن هذا يحتاج إلى كلفة إضافية كبيرة وقواعد إضافية لثبيت مروحة التبريد كما يحتاج لحجم أكبر.

المراجع:

- [1] ARMED SERVICES TECHNICAL INFORMATION AGENCY, January 1963 - **Solar Energy Measurement Techniques**. Technical Documentary Report ASD-TDR-62-882.
- [2] S. M. NEUDER, 1970- **Spectral Modification for Solar Simulation**. Applied Optics 9, pp. 1014-1018.
- [3] U. C. PERNISZ, 1982-1983 - **Development of a Standard Test Method for Measuring Photovoltaic Cell Performance**. Solar Cells 7, pp. 203-208.
- [4] H. BRANDHORST, J. HICKEY, H. CURTIS, E. RALPH, 1975- **Interim Solar Cell Testing Procedures for Terrestrial Applications**. NASA TM X-71771.
- [5] ERDA/NASA, 1977- **Terrestrial Photovoltaic Measurement Procedures**. NASA TM-73702.
- [6] Commission of the European Communities, 1979- **Standard Procedures for Terrestrial Photovoltaic Performance Measurements**. ISBN 92-825-1484-6.
- [7] H. A. SCHAFFT, 1982-1983 - **Measurements for Commercial Photovoltaics: A Status report**. Solar Cells 7, pp. 23-46.
- [8] R. J. MATSON, K. A. EMERY AND R. E. BIRD, 1984- **Terrestrial Solar Spectra, Solar Simulation and Solar Cell Short-Circuit Current Calibration: A Review**. Solar Cells 11, 105-145.
- [9] S. J. HOGAN, 1986- **Status of IEC, ASTM, and IEEE Photovoltaic Standards**. Solar Cells 18, pp. 327-333.
- [10] E. L. RALPH, 1982-1983- **Photovoltaics Measurement Equipment Needs: The View of a Prospective Supplier**. Solar Cells7, pp. 55-60.
- [11] K. A. EMERY, 1986- **Solar Simulators and I-V Measurement Methods**. Solar Cells18, pp. 251-260.

- [12] R. L. MUELLER, 1993- **The Large Area Pulsed Solar Simulator (LAPSS)**. JPL Report, JPL Publication 93-22.
- [13] T. W. CANNON, 1998- **Spectral Measurements of Pulse Solar Simulators**. NREL Report, NREL/CP-560-25732.
- [14] L. C. KILMER, 1995- **Design of a More Accurate, Higher Fidelity, Dual-Source Air Mass Zero Solar Simulator**. Aerospace Report, TR-94(4524)-1.
- [15] P. JENKINS, D. SCHEIMAN, D. SNYDER - **Design and Performance of a Triple Source Air Mass Zero Solar Simulator**. 18th Space Photovoltaic Research and Technology Conference, NASA/CP-2005-213431, pp. 134-138.
- [16] M. BLISS, T. R. BETTS, R. GOTTSCHALG, 2008-**Advantages in Using LEDs as the Main Light Source in Solar Simulators for Measuring PV Device Characteristics**. Proc. of SPIE, Vol. 704807.
- [17] S. H. JANG, M. W. SHIN, 2010- **Fabrication and Thermal Optimization of LED Solar Cell Simulator**. Current Applied Physics 10, pp. 537-539.
- [18] ASTM International - ASTM E927-04, 2010- **Specification for Solar Simulation for Photovoltaic Testing**.
- [19] ASTM G173-03, 2008 -**Tables for Reference Solar Spectral Irradiances: Direct Normal and Hemispherical on 37 Tilted Surface**.
- [20] P. KRUSI and R. SCHMID, 1983-**The CSI 1000W Lamp as Source for Solar Radiation Simulation**. Solar Energy 30, pp. 455-462.
- [21] R. WINSTON, J. C. MINANO, P. BENITEZ, 2005-**Nonimaging Optics**. Elsevier Academic Press.
- [22] D. BICKLER, 1962- **The Simulation of Solar Radiation**. Solar Energy 6, pp. 64-68.

- [23] R. J. MATSON, K. A. EMERY AND R. E. BIRD, 1984 - **Terrestrial Solar Spectra, Solar Simulation and Solar Cell Short-Circuit Current Calibration: A Review**. Solar Cells 11, pp 105-145.
- [24] D. S. CODD, A. CARLSON, J. REES, A. H. SLOCUM, 2010- **A Low Cost High Flux Solar Simulator**. Solar Energy 84, pp. 2202-2212.
- [25] E. J. G. BEESON, 1978- **The CSI Lamp as a Source of Radiation for Solar Simulation**. Lighting Research and Technology 10, pp. 164-166.
- [26] P. KRUSI and R. SCHMID, 1983- **The CSI 1000W Lamp as Source for Solar Radiation Simulation**. Solar Energy 30, pp. 455-462.
- [27] M. BLISS, T. R. BETTS, R. GOTTSCHALG, 2008- **Advantages in Using LEDs as the Main Light Source in Solar Simulators for Measuring PV Device Characteristics**. Proc. of SPIE, Vol. 704807.
- [28] S. KOHRAKU, K. KUROKAWA, 2006- **A Fundamental Experiment for Discrete-Wavelength LED Solar Simulator**. Solar Energy Materials & Solar Cells 90, pp. 3364-3370.
- [29] A. M. BAZZI, Z. KLEIN, M. Sweeney, et al., 2012 -**Solid- State Solar Simulator**. IEEE Transactions on Industry Applications 48, pp. 1195-1202.
- [30] G. G. GORANSON, 1965 -**Comments on the Operation of the JPL 25-ft Space Simulator**. Technical Report No.32-885.
- [31] Erkata Yandri , 2018- **Uniformity characteristic and calibration of simple low cost compact halogen solar simulator for indoor experiments**. Indonesia.
- [32] Rahmat Awaludin Salam, Muhammad Miftahul , MunirThariq Warsahemas, Casmika Saputra, Hamzah Latief and Khairurrijal Khairurrijal , 2018 - **A simple solar simulator with highly stable controlled irradiance for solar panel characterization**.

نقليل عدد نطاقات الصور الطيفية باستخدام خوارزمية تحليل المكونات الرئيسية وتطبيقه في التعرف على الوجوه

طالب الدراسات العليا: علي عبد الله الحسين

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة البعث

الاختصاص: الهندسة الالكترونية والاتصالات

الدكتور المشرف: نبيل دحدوح + الدكتور المشارك: عيد العبود

المخلص

في الوقت الحاضر، يتم استخدام تقنيات التصوير الطيفي على نطاق واسع. على الرغم من أن الصور الطيفية توفر معلومات كثيرة حول النطاقات، إلا أن أبعادها العالية وعددها نطاقاتها الكبير تزيد بشكل كبير من العبء الحسابي. تتمثل إحدى المهام الرئيسية في معالجة البيانات الطيفية في تقليل التكرار في المعلومات الطيفية والمكانية دون فقدان أي تفاصيل مهمة. في هذه المقالة، نقدم تقنية لتقليل عدد النطاقات الطيفية وهي خوارزمية تحليل المكونات الرئيسية (PCA) Principal Component Analysis حيث تم تخفيض عدد النطاقات الطيفية من 33 نطاق إلى 5 نطاقات واستخراج الميزات من كل نطاق باستخدام خوارزمية الرسم البياني للتدرج الموجه (HOG) Histogram of Oriented Gradients والتي تعالج العديد من التحديات المتعلقة بالتعرف على الوجوه البشرية مثل تغيرات الإضاءة وغيرها وللتحقق من المطابقة والتصنيف استخدامنا خوارزمية تصنيف الجوار الأقرب إلى K (KNN) K-Nearest Neighbor. تم تطبيق الخوارزميات وتقييم الأداء على قاعدة البيانات UWA-HSFD. تظهر النتائج التجريبية أن الخوارزمية المقترحة فعالة من حيث الدقة والزمن بالمقارنة مع الخوارزميات الأخرى.

كلمات مفتاحية: التعرف على الوجوه- التصوير الطيفي-تحليل المكونات الرئيسية- الرسم

البياني للتدرج الموجه-مصنف KNN

Reducing the number of spectral image bands using Principal Component Analysis algorithm and its-application in face recognition

Abstract

Nowadays, spectral imaging techniques are widely used. Although the spectral images provide a lot of information about the bands, their high dimensions and their large number of bands greatly increase the computational burden. One of the main tasks in spectral data processing is to reduce redundancy in spectral and spatial information without losing any important details. In this article, we present a technique to reduce the number of spectral bands which is the Principal Component Analysis algorithm (PCA) where the number of spectral bands was reduced from 33 to 5 bands and the features were extracted from each band using the Histogram of Oriented Gradient Graph (HOG) algorithm. Gradients, which address many challenges related to human face recognition such as lighting changes, etc., and to verify conformance and classification, we used the K (KNN) K-Nearest Neighbor classification algorithm. Algorithms and performance evaluation were applied to the UWA-HSFD database. The experimental results show that the proposed algorithm is efficient in terms of accuracy and time compared to other algorithms.

Keywords: Face recognition - Spectral imaging – PCA – HOG - KNN classifier

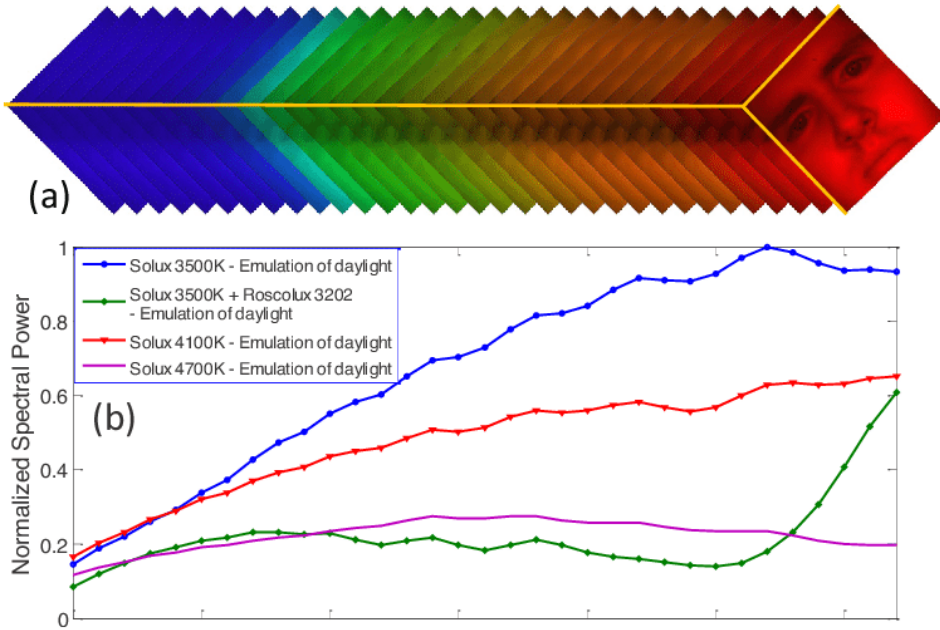
1 المقدمة

تجمع تكنولوجيا التصوير الطيفي (HSI) Hyperspectral imaging المعلومات من نطاقات طيفية مختلفة بما في ذلك السمات الهيكلية التشكيلية والكيميائية من خلال تعرف المعلومات المكانية والمعلومات الطيفية للأجسام [1]. ويمكن استخدامه في العديد من مجالات التعرف والتحقق، مثل تعرف الوجوه [2]، تقييم جودة الطعام [3]، وكشف سلامة الأغذية [4]، والعلاج الطبي مثل الكشف عن السرطان [5].

يوفر التصوير الطيفي فرصاً جديدة لتحسين دقة تعرف الوجوه. من خلال تقسيم الطيف إلى العديد من النطاقات الضيقة فإن الكاميرا الطيفية تكشف عن معلومات غير واضحة للعين البشرية أو لكاميرا RGB التقليدية كما أن إضافة البعد الطيفي يزيد من حجم قاعدة بيانات الأوجه أي يزيد عدد الصور التي يتم المقارنة بينها وهو ما يؤدي إلى تفاوت أكبر بين الأشخاص بسبب زيادة المعلومات لكل وجه من الوجوه كما أن الخصائص الطيفية لأنسجة الوجه مفيدة لزيادة التمييز بين المواد [6]. بالإضافة إلى المظهر السطحي، يمكن للقياسات الطيفية في نطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة أيضاً أن تستشعر ميزات الأنسجة تحت السطحية التي تختلف اختلافاً كبيراً بين الشخص والآخر. يوجد ميزات أخرى عديدة للتصوير الطيفي منها تقديم اختبارات حيوية من خلال التمييز بين البصمة الطيفية للوجه البشري الحقيقي من جهة والأقنعة الاصطناعية أو الصور الفوتوغرافية من جهة أخرى.

يفرض التصوير الطيفي في مجال التعرف تحديات جديدة منها صعوبة الحصول على البيانات وانخفاض في نسبة الإشارة إلى الضجيج SNR وحجم البيانات الكبير. يتم التقاط الصور الطيفية بالتسلسل وطرق أخرى وبالتالي فإن حركات الأشخاص، وخاصةً رمش العينين، قد تؤدي إلى ازاحة مكانية بين النطاقات كما يؤدي اختلال نطاقات التردد إلى حدوث اختلافات بين الأشخاص يجب إلغاؤها دون المساس بزيادة المسافات بين الأشخاص التي يوفرها البعد الطيفي الإضافي. مصادر الضوء الطبيعية والاصطناعية لها كثافة منخفضة قريبة من مجموعة 400

نانومتر (الخط الأزرق) (الشكل 1 a). يؤدي هذا التأثير إلى جانب النفاذية المنخفضة وعرض النطاق الضيق لمرشحات تمرير النطاق عند هذه الأطوال الموجية (الشكل 1 b) إلى ظهور صور نطاقات ذات نسب إشارة إلى ضجيج منخفضة جداً. تزيد الأبعاد العالية للبيانات من صعوبة فصل المعلومات التمييزية المطلوبة إضافة إلى مشاكل الأبعاد الكبيرة.



الشكل (1): (a) مكعب صورة طيفية (b) طيف طبيعي لخمسة مصادر ضوئية مختلفة [7].

بدأت الأبحاث حول تعرّف الوجه عن طريق الطيف في عام 2003 [6]. استخدمت لأول مرة قاعدة بيانات ذات وجه بشري طيفي للتعرف عليها ، حيث تحتوي قاعدة البيانات على 31 نطاق من 700 نانومتر إلى 1000 نانومتر. دمجت المعلومات

المكانية للصورة الطيفية للحصول على متجه أكثر تمثيلاً للتعرف على الوجه البشري، حيث تم اختيار كل عنصر صورة في الصورة المدمجة من نطاق معين في نفس الموضع. من خلال هذه الطريقة، يتم تحويل مكعب الصورة ثلاثي الأبعاد إلى صورة ثنائية الأبعاد.

أنشأت في عام 2010 قاعدة بيانات الوجه الطيفي، حيث تم اختيار النطاقات في قاعدة البيانات هذه ليكون الفاصل بين النطاقات 10 نانومتر ضمن المجال [400-720] نانومتر. خلال هذه العملية، واستناداً إلى نشاط الجلد (البشرة) البشري وخصائص الانعكاس للكرياتين والهيموغلوبين والميلانين، تم اختيار ست نطاقات طيفية كالنطاقات التجريبية التالية، وهي 530 نانومتر، 540 نانومتر، 550 نانومتر، 570 نانومتر، 580 نانومتر، و590 نانومتر. تم استخراج الميزات باستخدام خوارزمية 2D PCA. وأخيراً، تم استخدام تصنيف الجوار الأقرب إلى K للتصنيف [8].

تم اقتراح خوارزمية دمج النطاق لدمج الصور الطيفية في صورة واحدة [9]، واستخدمت خوارزمية انحدار المربعات الصغرى الجزئية (Partial Least Squares) للتحقق من دقة التعرف على الوجه وتصنيفه. في هذه الدراسة، تم تقسيم الصورة الطيفية أولاً إلى بلوكات $m \times m$ بواسطة نافذة منزلة وحساب المساحة المغطاة بالنوافذ المنزلة إلى قيمة من خلال سلسلة من العمليات الحسابية في كل مرة، تدمج هذه القيم في مصفوفة ثنائية الأبعاد أو الصورة النهائية المدمجة في النهاية. ثم استخدموا خوارزمية PLS لتصنيف الصورة، واختبار الخوارزمية على قواعد بيانات الصورة الوجهية المتاحة مقارنة مع عدة خوارزميات موجودة للتحقق من أدائها. أظهرت النتائج التجريبية أن خوارزمية الدمج في النطاق المقترح تؤدي أداءً أفضل من الخوارزميات المقارنة معها.

إحدى المشاكل المذكورة في تعرف الوجه هي مشكلة الأبعاد العالية (curse of dimensionality) [10]، مما يعني أن تقليل الأبعاد هو أحد المشكلات الحرجة

في مشكلة تصنيف صورة طيفية. إذا نظرنا لقاعدة بيانات الوجه الطيفي بدقة فسندج أن الفاصل الطيفي بين نطاقين متجاورين هو 10 نانومتر فقط، وهذا يؤدي إلى ترابط كبير بين صور النطاقات المجاورة. لذلك، يتم استخدام طرق اختيار النطاق على مجال واسع في تصنيف صورة الوجه والتي يمكن أن تحافظ على الخصائص الطيفية للوجه البشري دون أن تفقد الكثير من المعلومات [8]. ليس هناك شك في أن الخوارزمية القائمة على دمج النطاقات قد حصلت على أداء جيد، لكنها تستغرق زمناً طويلاً، وهي مشكلة كبيرة عند تطبيق هذه الخوارزمية في الواقع.

من التحديات الأخرى التي تواجه تقنيات تعرف الوجوه الطيفية هي أن الدراسات والأبحاث المتعلقة بالتعرف على الوجوه الطيفية قليلة للغاية بالإضافة إلى مشكلة قواعد البيانات القليلة في هذا المجال حيث تفتقر الجهود البحثية الحالية إلى تقييم شامل لأنها تستخدم عدداً صغيراً جداً من موضوعات الاختبار أو قواعد بيانات ذات حقوق ملكية. والأهم من ذلك، إن الدراسات الموجودة لا توفر مقارنات شاملة مع تقنيات التعرف على الوجوه الحديثة والتي لم يتم تصميمها خصيصاً للتعرف على الوجوه الطيفية ولكن يمكن تطبيقها مع بعض التعديلات. على سبيل المثال، يمكن التعامل مع كل نطاق من مكعب الصورة الطيفية كصورة منفصلة ويمكن تطبيق تقنيات التعرف على الوجوه الرمادية الموجودة.

2 هدف البحث

يهدف البحث إلى تحسين دقة تعرف الوجوه مع تخفيض التعقيد الحسابي من خلال تقليل عدد النطاقات الطيفية التي تفرضها تقنية التصوير الطيفي في أنظمة تعرف الوجوه حيث يتم اختيار النطاقات الأمثل باستخدام خوارزمية (PCA) والتي تحقق دقة تصنيف (مطابقة) مرضية مقارنة مع الدقة التي نحصل عليها باستخدام النطاقات كاملة.

3 أهمية البحث

أهمية البحث تكمن في تقليل الزمن اللازم للتصنيف والمطابقة مع الحفاظ على الدقة من خلال تقليل عدد النطاقات المطلوبة عند استخدام الخوارزميات الطيفية.

4 وطرق وأدوات البحث

طريقة البحث تجريبية وأدوات البحث هي برنامج MATLAB R2020b في مراحل تقليل النطاقات واستخراج الميزة والتصنيف وبالإستعانة ببرنامج ENVI 5.1 حصلنا على المكعب الطيفي المطلوب للمحاكاة في بيئة الـ MATLAB.

5 خوارزمية PCA

يعتمد تحليل المكون الرئيسي على حقيقة أن النطاقات المجاورة من الصور الفائقة الطيفية مترابطة بشكل كبير وغالباً ما تنقل نفس المعلومات تقريباً حول الكائن. يستخدم التحليل لتحويل البيانات الأصلية لإزالة الارتباط بين النطاقات.

يستخدم PCA الخصائص الإحصائية للنطاقات الطيفية لفحص تبعية النطاق أو الارتباط. قد نجد العديد من المرادفات لـ PCA، مثل تحويل Hotelling أو تحويل Karhunen-Loeve Woods 1993، فإن كل هذه المصطلحات تستند إلى نفس المبدأ الرياضي المعروف باسم تحليل القيمة المفردة (SVD) Singular Value Decomposition لمصفوفة التغاير لنطاقات الصورة الفائقة الطيفية لتحليلها [11].

5.1 آلية عمل الخوارزمية

ليكن لدينا عدد C من النطاقات الطيفية (X_1, X_2, \dots, X_C) والمعبر عنها بمكعب طيفي cube في مجال التصوير الطيفي [8]، كل نطاق له الأبعاد $M \times N$ (2D).

• الخطوة الأولى:

إعادة تشكيل النطاق ثنائي البعد الى متجه أحادي البعد ID وبالتالي كل نطاق أصبح يمثل بمتجه $1 \times MN$ على شكل تتابع صفوف.

نرتب كل النطاقات للحصول على مصفوفة البيانات X أبعادها $C \times MN$. وفي هذه المصفوفة كل سطر يعبر عن نطاق طيفي.

• الخطوة الثانية:

إيجاد متوسط المصفوفة X : $m = \bar{X}$.

• الخطوة الثالثة:

طرح المتوسط m من كل سطر من المصفوفة X :

$$X_m = X - m \quad (1)$$

• الخطوة الرابعة:

إيجاد مصفوفة التغاير (covariance matrix) للمصفوفة X_m بالعلاقة (2):

$$Q = \left(\frac{X_m^T \cdot X_m}{n-1} \right) \quad (2)$$

حيث أن أبعاد المصفوفة X_m : $C \times MN$ وأبعاد المصفوفة X_m^T : $MN \times C$ وبالتالي تكون أبعاد المصفوفة Q : $MN \times MN$ كبيرة جداً جداً.

• الخطوة الخامسة:

حساب القيم الذاتية (eigenvalues) للمصفوفة Q بمعنى اخر أن نقوم بعملية diagonalize للمصفوفة Q والهدف من هذه الخطوة هو جعل البيانات غير مترابطة.

يمكن الحصول على القيم الذاتية باستخدام مصفوفة التحويل P حيث:

$$P^{-1}QP = \Lambda \quad (3)$$

Λ : مصفوفة قطرية ولها الأبعاد $MN \times MN$

عندما تكون المصفوفة P المتعامدة نستطيع أن نكتب:

$$P^TQP = \Lambda \quad (4)$$

علماً أن القطر الرئيسي يحمل كل القيم الذاتية (eigen values) للمصفوفة Q .

نستطيع إيجاد مصفوفة التحويل P من خلال المتجهات الذاتية (eigen vectors) للمصفوفة Q ، يوجد MN متجه ذاتي بأبعاد $1 \times MN$ وهذه المتجهات متعامدة بالنسبة لبعضها البعض.

وعند ترتيب هذه المتجهات جنباً إلى جنب نحصل على المصفوفة P بأبعاد

$MN \times MN$:

$$P = [p_1 \ p_2 \ p_3 \ \dots \ p_{MN}] \quad (5)$$

نلاحظ أن أبعاد هذه المصفوفة كبيرة ايضاً وتسمى model matrix ويمكن أن تستخدم هذه المصفوفة P لفك ارتباط البيانات (decorrelate).

يعطى هذا التحويل بالعلاقة (6):

$$T_{c \times MN} = [X_m]_{c \times MN} \cdot [P]_{MN \times MN} = [X - m]_{c \times MN} \cdot [P]_{MN \times MN} \quad (6)$$

نلاحظ أن مجموعة البيانات المحولة بأبعاد $c \times MN$ وبالتالي لم يتم تقليل الأبعاد والسبب هو أننا أخذنا كامل المصفوفة P في عملية التحويل ونلاحظ أيضاً أن كل المتجهات الذاتية تمثل كل محاور المكونات (All principal axis) أي إلى الآن لم يتم تقليل الأبعاد.

إذاً لتقليل الأبعاد علينا اختيار بضع المتجهات للمكونات المسيطرة أو الرئيسية بمعنى آخر يجب أن نختار بضعة أعمدة فقط (eigen vectors) من المصفوفة P .

السؤال هو كيف سنختار الأعمدة القليلة هذه (eigen vectors) والإبقاء عليها فقط في المصفوفة P

والجواب، سنختار فقط العدد L من المتجهات الذاتية (أعمدة المصفوفة P) والذي يطابق العدد L من القيم الذاتية الأكبر لـ (λ) كما هو موضح في المعادلة (7):

$$T_{c \times L} = [X - m]_{c \times MN} \cdot [P_{PCA}]_{MN \times L} \quad (7)$$

العدد L سيتراوح بين [20-50] ونحن نعلم أن MN هي من رتبة الآلاف وبالتالي حصلنا على تقليل كبير جداً في أبعاد البيانات X حيث:

$$\{ [X]_{c \times MN} \square [T]_{c \times L} \} \quad (8)$$

نحن نعلم أن كل سطر بالمصفوفة $X_{c \times MN}$ يعبر عن نطاق بأبعاد $1 \times MN$ وبعد التحويل المصفوفة $T_{c \times L}$ كل نطاق أصبحت تمثل بأبعاد $1 \times L$

إذا كان لدينا صورة (نطاق) أو متجه فإن قانون PCA (من الصورة الأصلية للصورة ذات الأبعاد المنخفضة) يعطى بالعلاقة (9):

$$I_{PCA(1 \times L)} = [I - m]_{(1 \times MN)} \cdot [P_{PCA}]_{(MN \times L)} \quad (9)$$

5.2 اختيار النطاقات

نقوم باختيار النطاقات وفقاً لأعلى تباين لمعاملات النطاقات (coefficient) حسب المرجع [12] حيث تم استخدام خوارزمية تحليل المكون الرئيسي (PCA)، وهي كما ذكرنا أداة قوية في تقليل الأبعاد للبيانات شديدة الارتباط، لشرح مكعب البيانات متعدد النطاقات المحدد بواسطة عدد صغير من المتغيرات غير المرتبطة خطياً وفقاً للمعادلة (10):

$$PC_m = \sum_{i=1}^c W_i I_i \quad (10)$$

حيث:

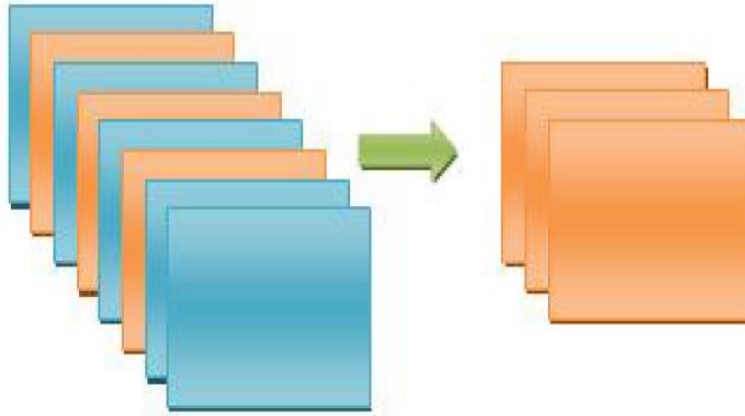
PC_m : هي صورة المكون الرئيسي m^{th} .

c : هو عدد الصور (النطاقات) في قاعدة بيانات صورة الوجه الفائقة الطيفية الأصلية.

w_i : هو معامل الوزن للصورة في النطاق الموجي i .

I_i : هو الصورة الأصلية في النطاق الموجي i .

يوضح الشكل (2) آلية عمل خوارزمية PCA في اختيار النطاقات



الشكل (2): تقنية PCA في اختيار النطاقات

6 استخراج الميزة Feature Extraction

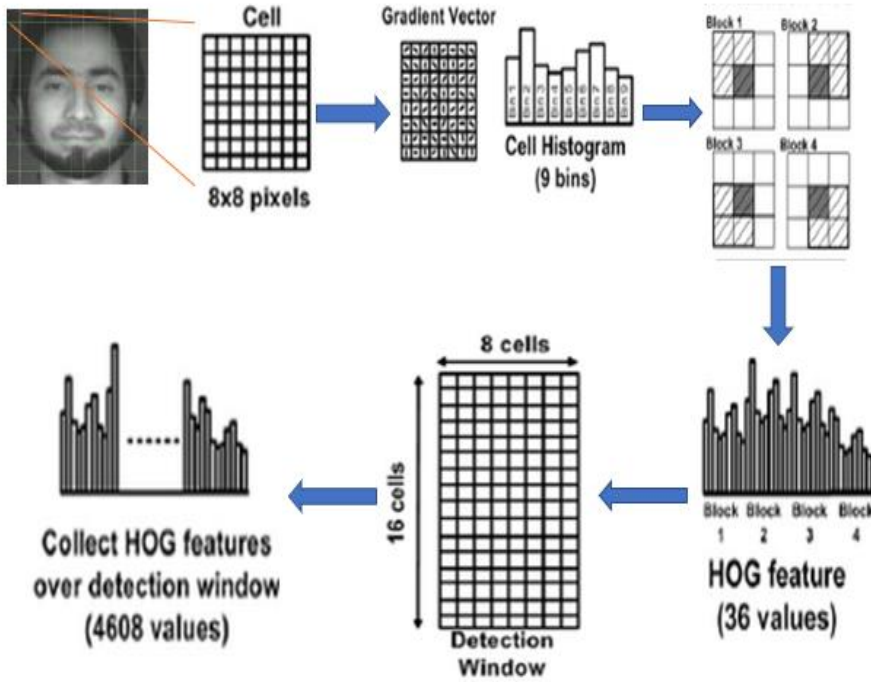
تستخدم خوارزمية الرسم البياني للتدرج الموجه (HOG) اتجاه التدرج اللوني للصورة والرسم البياني العادي لاستخراج الميزة، يتم تلخيص خطوات استخراج الميزة على النحو التالي:

بدايةً يتم تغيير حجم صورة الإدخال إلى 100×100 عنصر صورة. يتم بعد ذلك إجراء تسوية جاما Gamma على الصورة، متبوعاً بحساب حجم التدرج وزاويته لكل عنصر صورة. ثم يتم تقسيم الصورة الناتجة إلى شبكة من الخلايا cells بحجم 8×8 عنصر صورة. بعد ذلك، يتم وضع نافذة منزلة بقياس 16×16 بيكسل أعلى الشبكة وتزلق عبر الخلايا. في كل خطوة، تتداخل النافذة المنزلة مع أربع خلايا مكونةً بلوك ثم يتم تطبيع normalize الرسوم البيانية وتجميعها لتشكيل متجه ميزة 1-D.

خوارزمية HOG

الفكرة العامة لهذه الخوارزمية هي استخراج ميزة HOG باستخدام عدد انتقائي من صناديق (bins) الرسم البياني [13]. بدلاً من استخدام نفس العدد من صناديق

المرج التكراري في جميع أنحاء الصورة، تستخدم الطريقة المقترحة عدداً أكبر من صناديق الرسم البياني في مناطق الصورة التي قد تنتمي إلى الميزات الأساسية في الوجه (العينين- الأنف- الحاجبين- الخدين- الفم) بينما يكون عدد الصناديق أقل في باقي المناطق. لجعل الميزات أكثر ثباتاً في تغييرات الإضاءة في الصورة، يتم استخدام تسوية البلوكات المتعددة لتقليل حجم الميزة بشكل أكبر.



الشكل (3): ملخص خوارزمية الرسم البياني للتدرج الموجه HOG

يتم شرح تفاصيل كل خطوة من خطوات الطريقة المقترحة في الأقسام الفرعية التالية:

أ- المعالجة المسبقة للصور Image pre-processing

نقوم بتغيير قياس صورة الإدخال إلى 100×100 بيكسل لضمان استخدام حجم ثابت للصورة في استخراج الميزة. ثم يتم تحويل الصورة إلى تدرج الرمادي.

ب- حساب التدرج Gradient computation

بعد ذلك، يتم حساب التدرجات اللونية لكل بيكسل في الصورة باستخدام المعادلات (11-12):

$$dx = I(x + 1, y) - I(x, y) \quad (11)$$

$$dy = I(x, y + 1) - I(x, y) \quad (12)$$

حيث dx و dy هما التدرج الأفقي والعمودي على التوالي، $I(x, y)$ هي قيمة البيكسل في الموضع (x, y) يتم حساب اتجاه التدرج θ باستخدام المعادلة (13):

$$\theta(x, y) = \tan^{-1} \left(\frac{dy}{dx} \right) \quad (13)$$

ت- تقسيم الصورة المدخلة إلى خلايا وبلوكات

يتم تقسيم صورة التدرج الناتج إلى خلايا 8×8 بيكسل. يتم بعد ذلك تمرير نافذة منزلقة بحجم 16×16 بيكسل عبر الخلايا، حيث تغطي كل خطوة أربع خلايا مجاورة. تشكل كل مجموعة من أربع خلايا مجاورة بلوك. تتداخل البلوكات المجاورة مع بعضها البعض كما هو موضح في الشكل (3) وبهذه العملية، يتم تشكيل

إجمالي 120 بلوك على صورة 100×100 عنصر صورة (الشكل (4) يوضح أن عدد الخلايا هو 13×11 وبالتالي يكون عدد البلوكات الإجمالي 12×10).

ث- بناء الرسم البياني للتدرج الموجه باستخدام عدد انتقائي من

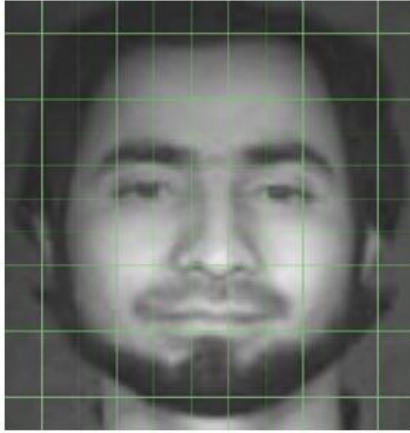
صناديق الرسم البياني

لكل بلوك، يتم إنشاء رسم بياني لاتجاه التدرج. يتم ذلك عن طريق اختيار زوايا الاتجاه لكل عنصر صورة في عدد محدد مسبقاً من صناديق الرسم البياني. سيؤدي استخدام عدد أكبر من الصناديق إلى استخراج معلومات توجيه أكثر تفصيلاً من الصورة ولكنه سيؤدي إلى إنشاء عدد أكبر من الميزات.

لتقليل حجم الميزة مع الاحتفاظ بالتفاصيل المهمة في الميزة، يتم استخدام عدد مختلف من صناديق الرسم البياني لمناطق مختلفة في الصورة. يتم استخدام عدد أكبر من صناديق الرسم البياني لاستخراج ميزات المناطق التي قد تنتمي إلى الميزات الأساسية بينما يتم استخدام عدد أقل من الصناديق لبقية المناطق.

لتحديد المناطق التي قد تنتمي إلى الميزات الأساسية، يتم إنشاء صورة متوسطة من عدد من عينات تدريب إيجابية. ثم يتم وضع إطار يوضح موضع البلوكات على متوسط الصورة كما هو موضح في الشكل 4 (الشكل الأيسر). من هذه الصورة، يتم تحديد البلوكات التي قد تحتوي على الميزات الأساسية. تظهر هذه البلوكات في الشكل 4 (الشكل الأيمن).

يتم استخدام عدد أكبر من صناديق الرسم البياني لاستخراج ميزات للبلوكات المظلمة بينما يتم استخدام عدد أقل من صناديق الرسم البياني لبقية البلوكات. يتم تحديد القيم المثلى للعدد المرتفع والمنخفض من الصناديق المراد استخدامها تجريبياً.



1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31	32	33	34	35
36	37	38	39	40	41	42
43	44	45	46	47	48	49
50	51	52	53	54	55	56
57	58	59	60	61	62	63
64	65	66	67	68	69	70
71	72	73	74	75	76	77
78	79	80	81	82	83	84
85	86	87	88	89	90	91
92	93	94	95	96	97	98
99	100	101	102	103	104	105

الشكل (4): الشكل الأيسر يوضح شبكة لإظهار موضع البلوكات المغطاة على الصورة المتوسطة الناتجة، الشكل الأيمن يوضح البلوكات المحددة التي تغطي الميزات الأهم في صورة الوجه

ج- تطبيع البلوك Block normalization

يتم استخدام مخطط تطبيع L2 لتطبيع قيم الرسم البياني لجعل الميزات أكثر ثباتاً مع التغييرات في الإضاءة.

استناداً إلى التجارب التي أجراها [16]، أظهرنا أن L2-المعياري هو أفضل مخططات التطبيع لاستخراج ميزة HOG وبالتالي يتم استخدامه في الطريقة المقترحة. يتم تعريف مخطط تسوية L2 باستخدام المعادلة (14):

$$v_n = v / \sqrt{\|v\|_2^2 + \epsilon^2} \quad (14)$$

حيث v هو متجه الميزة غير المطبوعة non-normalize، وهو متجه الخاصية الطبيعية، $\|v\|_2$ هي قيمة L2 المعيارية L2-norm و ϵ هو ثابت التطبيع الصغير لتجنب القسمة على الصفر. يتم حساب قيمة L2-norm من خلال المعادلة (15):

$$\|v\|_2 = \sqrt{\sum_{i=1}^n v_i^2} \quad (15)$$

يتم تنفيذ التطبيع متعدد البلوكات من خلال تجميع عدة بلوكات متجاورة وفقاً لعدد صناديق التوجيه المستخدمة في إنشاء المدرج التكراري. تم تشكيل حوالي الـ 30 مجموعة كما هو موضح في الشكل (5).

1		2		3
4		5		6
7	8	9	10	
12	13	14	15	16
17	18	19	20	21
22		23		24
25		26		27
28		29		30

الشكل (5): تجميع البلوكات لإنجاز خطوة التطبيع normalization

ثم يتم استخدام مخطط التطبيع L-2 لتطبيع جميع قيم المدرج التكراري في كل مجموعة. يتم أخيراً ربط الرسوم البيانية المطبوعة من جميع المجموعات لتشكيل متجه الميزة المقترح.

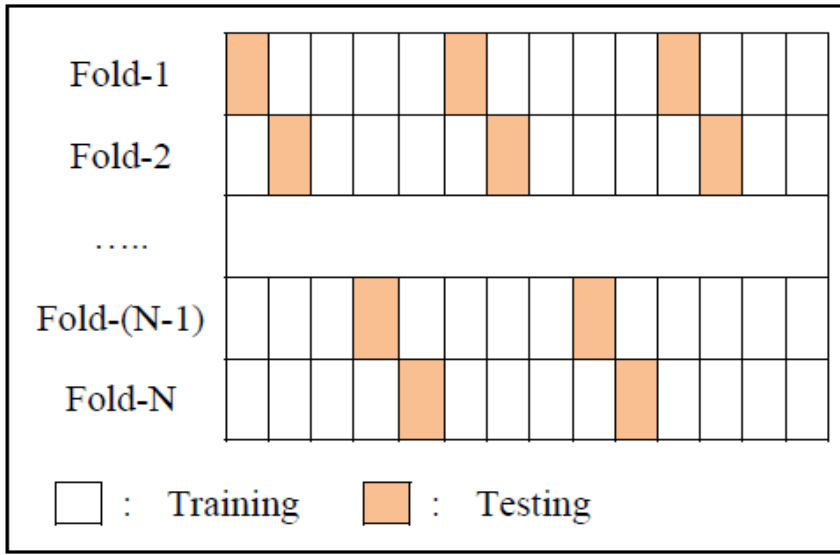
7 التصنيف

خوارزمية تصنيف الجوار الأقرب إلى K (K-Nearest Neighbor (KNN) هي طريقة تصنيف البيانات التي يمكن استخدامها كطريقة للتعرف على الوجوه [14]. يمثل كل بيكسل في الوجه معلومات فريدة. نقوم بالتعرف على الوجه بناءً على تصنيف كل بيكسل. تم تحديد الوجه بواسطة معظم الفئات مما أدى إلى تصنيف كل بيكسل. في آلية التعرف يجب إعادة تشكيل مصفوفة البيكسل لصورة الوجه إلى متجه قبل التصنيف. يتم وصف خوارزمية التعرف على الوجوه KNN المقترحة على النحو التالي:

1. تعديل أبعاد مصفوفة الوجه M-row و N-column (M x N) في متجه تبديل الوجه (MN x 1).
2. ترتيب كل متجه وجه في شكل مصفوفة (K x MN) باستخدام K هو عدد صور وجوه التدريب. يمثل كل صف صورة واحدة ويمثل كل عمود موضع البيكسل نفسه في كل صورة وجه.
3. تعديل مصفوفة اختبار الصورة في متجه تبديل الوجه بنفس طريقة صور تدريب (MN x 1).
4. حساب المسافة الإقليدية (d) بين كل عمود (i) في صورة الاختبار (x) وكل عمود (i) في صورة التدريب (y) وتوضح المعادلة (16) طريقة حساب المسافة الإقليدية:

$$d_E(x, y) = \sum_{i=1}^N \sqrt{x_i^2 - y_i^2} \quad (16)$$

5. تحديد التصنيف بناءً على أقصر مسافة للعمود بأكمله في كل صف.
6. تحديد التعرف على الوجوه على أساس أقرب الجار k.



الشكل (6): N-Fold Cross Validation

8 الاختبارات والنتائج

8.1 قاعدة البيانات

من أجل تجاربنا، قامت جامعة غرب أستراليا بتطوير قاعدة بيانات الوجه الطيفي [9]، وهي معروفة باسم UWA-HSFD. قاعدة البيانات هذه تحمل اسم TIP 2013 & BMVC 2015. وهي عبارة عن مجموعة مكونة من 120 مكعب صورة من 70 شخصاً موزعة على عدة جلسات في كل جلسة يتم التقاط الصور الطيفية بحالة مختلفة عن الجلسة الأخرى (مع ذقن- بدون ذقن.... الخ) مع كل مكعب مصور يتكون من 33 نطاقاً وراء نطاق الطيفي من 400 إلى 720 نانومتر على خطوات من 10 نانومتر.

8.2 بارامترات البحث

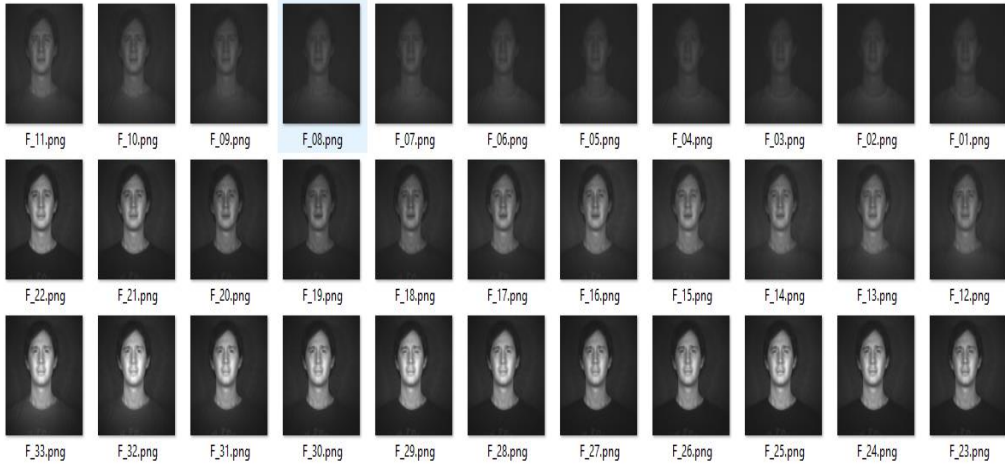
قمنا باختيار 17 مجلد كل واحد منها يحتوي على صور طيفية من 33 نطاق، بداية قمنا بقص هذه الصور لاحتواء الوجه ثم إعادة تعيين قياسها الى 100×100

باستخدام برنامج MATLAB وباستخدام برنامج ENVI 5.1 قمنا بإنشاء مكعب طيفي لكل مجلد.

بالنسبة لجميع التجارب على مجموعة بيانات UWA قمنا باختيار 17 مكعب طيفي من هذه المجموعة من أجل الحصول على نتائج دقيقة حيث أن هذه المكعبات الـ 17 مشتركة بين الجلسات الثلاث الأولى وبالتالي يتيح لنا حرية اختيار العينات العشوائية لتشمل كل الحالات (مع ذقن أو بدون، اختلاف ظروف الإضاءة والمحاذاة لكل شخص) وتم إجراء الاختبارات على 10 مجلدات واخترنا 60 عينة للتدريب و40 عينة للاختبار، في مستخرج الميزة HOG تم تعيين البارامتر غاما إلى 0.5، عندما حصلنا على ميزات HOG. وتم تعيين نسبة الحفاظ على الطاقة إلى 0.7، كما تم تطبيق خوارزميات تقليل الأبعاد واستخراج الميزة والتصنيف على المكعبات الطيفية الناتجة وتحليل النتائج باستخدام برنامج MATLAB R2020b.

يوضح الشكل (7) قاعدة البيانات المستخدمة حيث تشير أسماء الصور إلى ترتيب النطاقات (مثلاً الصورة F_01 تشير إلى أول نطاق 400 نانومتر وهكذا...) واللاحقة تشير إلى الصيغة المعتمدة في قاعدة البيانات المذكورة وهي png.

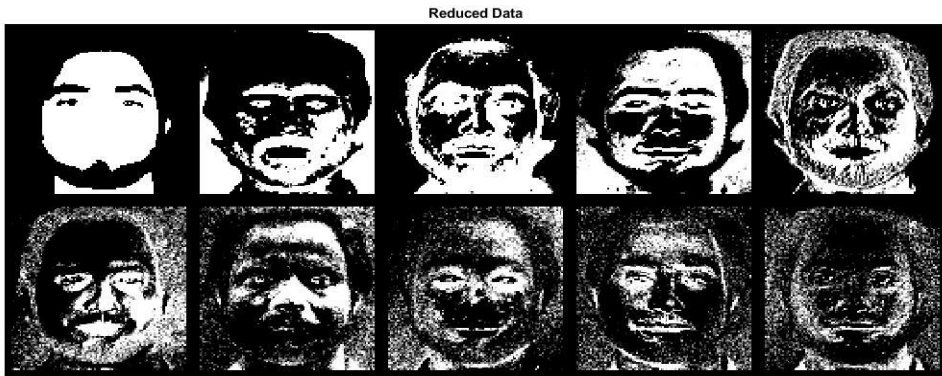




الشكل (7): مكعب وجه طيفيين من قاعدة البيانات UWA-HSFD.

8.3 نتائج البحث ومناقشتها

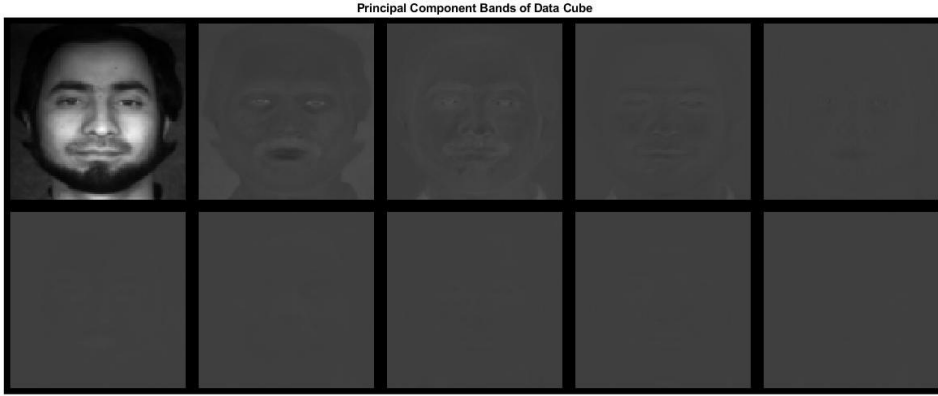
لداية نقوم بقراءة البيانات الطيفية (المكعب الطيفي) ثم نحسب نطاقات المكونات الرئيسية لمكعب البيانات الطيفية. حدد عدد المكونات الأساسية المراد استخلاصها $k = 10$ بشكل افتراضي، تستخدم الوظيفة طريقة تحليل القيمة المفردة (SVD)



لاستخراج المكونات الأساسية فنحصل على الشكل (8).

الشكل (8): المكونات العشرة الرئيسية الأولى للمكعب الطيفي

لتوضيح الصور نقوم بإعادة قياس (rescaling) قيم المكونات الأساسية لتقع في النطاق [0، 1]. ونعرض جميع نطاقات المكونات الرئيسية المستخرجة من مكعب



البيانات كما في الشكل (9).

الشكل (9): المكونات العشرة الرئيسية الأولى للمكعب الطيفي بعد عملية (rescaling)

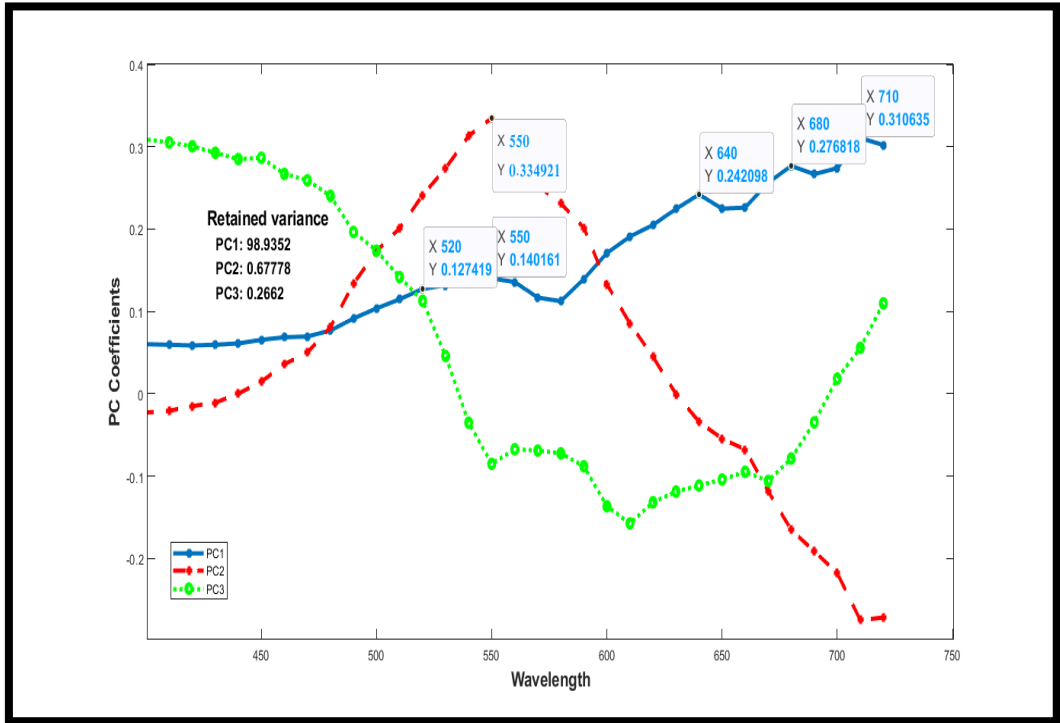
نقوم برسم معاملات المكون الرئيسي (coefficients) وعرض النسبة المئوية للتباين التي يحتفظ بها كل مكون رئيسي. يشير مجموع قيم التباين المستخرجة إلى أن ما يقرب من (99.8778%) من المعلومات في بيانات المدخلات الفائقة الطيفية يتم التقاطها بواسطة المكونات الرئيسية الثلاثة حيث في تجاربنا لاحظنا أن المكون الأول PC1 يحتوي على 98.9352% من المعلومات الطيفية بينما المكون الثاني PC2 يحتوي على 0.67778% من المعلومات وبينما المكون الثالث PC3 يحتوي فقط على 0.2662% من المعلومات كما هو موضح في الشكلين (10) - (11) ، كما يوضح الرسم البياني في الشكل (12) العلاقة بين القيم الذاتية للنطاقات المقابلة في مجموعة صور الوجه الطيفية

Principal Component Bands of Data Cube

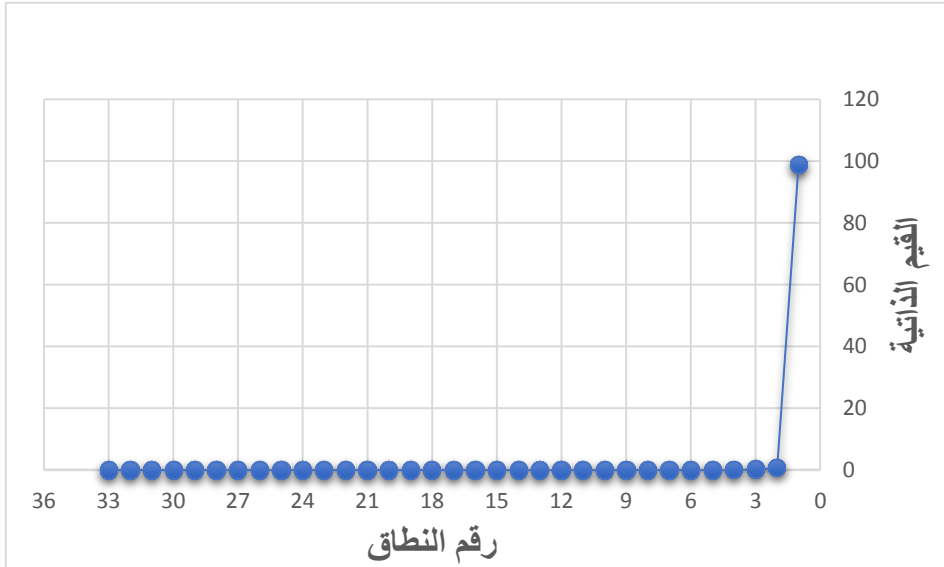


الشكل (10): المكونات الثلاثة الرئيسية الأولى للمكعب الطيفي

بالاعتماد على الشكل (11) الذي حصلنا عليه من المحاكاة نلاحظ وجود قمم لكل مكون تعبر عن قيمة المعامل العالية لكل نطاق بالنسبة للنطاقات المجاورة له.



الشكل (11): المكونات الثلاثة الرئيسية الأولى كعلاقة بين طول الموجة ومعاملات التباين (coefficients)



الشكل (12): رسم القيم الذاتية للنطاقات المقابلة في مجموعة صور الوجه الطيفية

نقوم بتحديد هذه القيم كما في الشكل (11) لنحصل بذلك على النطاقات المطلوبة وتكون النطاقات هي {520,550,640,680,710} وبعد ذلك نقوم بتطبيق خوارزمية HOG على النطاقات الناتجة ثم ندخلها الى المصنف KNN للحصول على الدقة ومقارنتها مع الخوارزميات الأخرى.

ومن أجل مقارنة النتائج قمنا باختيار نطاقات عشوائية من المكعبات الطيفية وحصلنا على دقة التصنيف المذكورة في الجدول (1) أي أننا قارنا بين اختيار 5 نطاقات باستخدام الخوارزمية المقترحة (PCA) و5 نطاقات عشوائية وهذا يثبت فعالية خوارزمتنا في أن النطاقات التي تم اختيارها هي الأفضل من أجل أهداف دقة التصنيف وبالتالي دقة التعرف على الوجوه، ويمكن الحصول على دقة التصنيف من

خلال تقسيم عدد الصور المطابقة على العدد الإجمالي لصور الاختبار وللحصول على النسبة المئوية نضرب الناتج بـ 100.

قمنا أيضاً باختبارات التصنيف على النطاقات بالكامل وحصلنا على دقة تصنيف 98.154% ولكن بزمن يساوي ستة أضعاف الزمن المطلوب لحساب الدقة لـ 5 نطاقات فقط كما هو موضح في الجدول (1).

الجدول (1): متوسط دقة التصنيف للخوارزمية المقترحة

عدد النطاقات	الدقة	الزمن
5 نطاقات عشوائية	95 %	7.998 s
5 نطاقات	98 %	8.167 s
كل النطاقات (33 نطاق)	98.154%	47.312 s

تتم مقارنة الخوارزمية المقترحة بـ 18 خوارزمية للتعرف على الوجوه فوق الطيفية الموجودة والممتدة مقسمة إلى ثلاث فئات؛ خمس خوارزميات للتعرف على الوجوه الفائقة الطيفية وسبع خوارزميات تصنيف الصور وستة خوارزميات للتعرف على الوجوه الرمادية / RGB.

بالنسبة للخوارزميات الخمسة المستخدمة سابقاً للتعرف على الوجوه الطيفية وتشمل مطابقة التوقيع الطيفي Spectral Signature وقياس الزاوية الطيفية Spectral Angle والطيف الترددي Spectral Eigenface و 2D PCA والتعرف على الوجوه الطيفي باستخدام 3D Gabor Wavelets، قام المرجع [9] بتطبيق هذه الخوارزميات وتحسين البارامترات وفقاً لما أوصى به المؤلفون الأصليون علماً أننا قمنا باستخدام نفس بيئة البرمجة التي

استخدمنا المرجع [9] وهي الـ MATLAB ونفس قاعدة البيانات واتبعنا نفس الأسلوب في تحديد عدد صور التدريب وعدد صور الاختبار كما أننا استخدمنا نفس مواصفات الحاسب المذكور في هذا المرجع (3.4 GHz CPU & 8GB RAM).

ويوضح الجدول (2) مقارنة شاملة بين الخوارزميات المذكورة وخوارزمتنا المقترحة من حيث الدقة وذلك من أجل قاعدة البيانات UWA-HSFD.

الجدول (2): مقارنة بين متوسط معدلات دقة التصنيف لـ 18 خوارزمية مع الخوارزمية المقترحة

الدقة (%)	الخوارزمية	الدقة (%)	الخوارزمية	الدقة (%)	الخوارزمية
Grayscale and RGB		Image set classification		Hyperspectral	
80.5	Eigenfaces	91.5	DCC	40.5	Spectral Signature
96.0	Fisherfaces	82.8	MMD	37.9	Spectral Angle
96.2	LBP	91.0	MDA	91.5	Spectral Eigenface
96.2	SRC	92.5	AHISD	83.8	2D PCA
96.2	CRC	92.5	CHISD	91.5	3D Gabor Wavelets
97.0	LCVBP+RLDA	92.5	SANP		
		93.1	CDL		

الدقة (%)	الخوارزمية المقترحة
98.154	PCA+HOG+KNN

9 الخاتمة والتوصيات

قدمنا خوارزمية تعرف على الوجه الطيفي استناداً إلى المعلومات الطيفية والمكانية وقمنا بتقليل عدد النطاقات باستخدام PCA من 33 إلى 5 نطاقات تحتوي على معظم المعلومات الطيفية الهامة واللازمة للتصنيف دون تدهور كبير في الدقة وبرهنا على أهمية الخوارزمية من حيث الزمن اللازم للتصنيف من خلال مقارنة الزمن المطلوب للحصول على دقة تصنيف لـ 5 مع زمن تصنيف 33 نطاق حيث أدى ذلك إلى تقليل الزمن من (47.312 s إلى 8.167 s) أي ست مرات تقريباً وهي نتيجة منطقية لأنه يتم معالجة عدد صور أقل ولكن ما نريد الإشارة إليه أن الدقة لم تتدهور حيث أنها انخفضت بمقدار 0.154% فقط مما يشير إلى أن عملية تقليل النطاقات هي منهجية واعدة في التعرف على الوجوه الفائقة الطيفية. وتم اختبار الخوارزمية المقترحة على قاعدة بيانات قياسية ومقارنتها بـ 18 خوارزمية حالية من أحدث التقنيات، بما في ذلك سبع خوارزميات، وست درجات رمادية / RGB وخمس خوارزميات للتعرف على الوجوه الطيفية. تفوقت خوارزمتنا على أحدث ما توصلت إليه قاعدة البيانات المذكورة من حيث الدقة ولم يتح لنا المقارنة من حيث الزمن وذلك لأن الدراسات السابقة قامت باستعراض نتائجها من حيث الدقة فقط.

نوصي مستقبلاً باستخدام أنظمة الحوسبة عالية الأداء لتسريع العمليات الحسابية، مثل برمجة CUDA وطريقة الحوسبة المتوازية مثل واجهة تمرير الرسائل (MPI). بالإضافة إلى ذلك استخدام خوارزميات التعلم الآلي الأكثر تقدماً وربما نماذج التعلم العميقة للتعرف على الوجه والتي ستؤدي بمجملها

تقليل عدد نطاقات الصور الطيفية باستخدام خوارزمية تحليل المكونات الرئيسية وتطبيقه في التعرف على الوجوه

إلى تحسين دقة التعرف على الوجوه وتسريع العمليات الحسابية وبالتالي تقليل الزمن.

10 المراجع

- [1] Zhu J, Tian T. Max-margin Majority Voting for Learning from Crowds[C]// International Conference on Neural Information Processing Systems. MIT Press, 2015.
- [2] Chen, Qidong, et al. "Hierarchical clustering-based band selection algorithm for hyperspectral face recognition." *IEEE Access* 7: 24333-24342,2019.
- [3] Liu Y, Pu H, Sun D W. Hyperspectral imaging technique for evaluating food quality and safety during various processes: A review of recent applications[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2017.
- [4] Qu J H, Wei Q, Sun D W. Carbon Dots: Principles and their Applications in Food Quality and Safety Detection[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2018.
- [5] Mooradian G, Weiderhold M, Dabiri A E, et al. Hyperspectral imaging methods and apparatus for non-invasive diagnosis of tissue for cancer: US, US 5782770 A[P]. 1998.
- [6] Z. Pan, G. Healey, M. Prasad, and B. J. Tromberg, "Face recognition in hyperspectral images," *IEEE Trans. on Pattern Anal. and Machine Intel.*, vol. 25, no. 12, pp. 1552–1560, 2003.
- [7] K. Barnard, L. Martin, A. Coath, and B. Funt, "A comparison of computational color constancy algorithms. ii. experiments with image data," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 11, no. 9, pp. 985–996, 2002.
- [8] Di W, Zhang L, Zhang D, et al. Studies on Hyperspectral Face Recognition in Visible Spectrum with Feature Band Selection[J]. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, 40(6):1354-1361.2010.

- [9] M. Uzair, A. Mahmood and Ajmal Mian, "Hyperspectral face recognition with spatio-spectral information fusion and PLS regression", *IEEE Trans. on Image Processing*, vol 24(3), 1127--1137, 2015.
- [10] Keogh E, Mueen A. Curse of Dimensionality[J]. *Ind.eng.chem*, 29(1):48-53.2009.
- [11] Karamizadeh, Sasan, et al. "An overview of principal component analysis." *Journal of Signal and Information Processing* 4.3B: 173,2013.
- [12] Xu, Yi, et al. "A novel hyperspectral microscopic imaging system for evaluating fresh degree of pork." *Korean journal for food science of animal resources* 38.2:362, 2018.
- [13] Chi Qin, L. A. I., and T. E. O. H. Soo Siang. "An efficient method of HOG feature extraction using selective histogram bin and PCA feature reduction." *Advances in Electrical and Computer Engineering* 16.4:101-108,2016.
- [14] Setiawan, Eko, and Adharul Muttaqin. "Implementation of K-Nearest Neighbors face recognition on low-power processor." *Telkomnika* 13.3: 949,2015.

تقييم ومقارنة أداء التحسينات على خوارزمية التقطير في انترنت الأشياء

د. محسن عبود

م. منال العمر

الملخص

اكتسبت خوارزمية Trickle التي تم تقديمها وتوحيدها في RFC 6206 شعبية كبيرة حيث يمكنها أن تضمن حل تناقض البيانات في البيئات الموزعة بدقة وسرعة مع انخفاض تكلفة الصيانة ودعم جيد للتوسع وزيادة كثافة الشبكة. بالنسبة لهذه الميزات الجذابة تشكل Trickle أساس العديد من معايير الإنترنت ويتم نشرها في العديد من التطبيقات مثل البث الموثوق واكتشاف الخدمة والموارد الموزعة وكذلك بروتوكولات التوجيه ومنها بروتوكول RPL المستخدم في شبكات انترنت الأشياء. قمنا في هذا البحث بالمقارنة بين أهم الدراسات التي حسنت خوارزمية Trickle من أجل تقليل التكلفة اللازمة لحل التناقض في معلومات التوجيه في بروتوكول RPL ، حيث قارنا بينهم من حيث زمن التقارب وعدد حزم التحكم المرسل في الشبكة و مقدار استهلاك الطاقة ومعدل تسليم الحزم وزمن تأخيرها. لقد وجدنا أن كل خوارزمية حسنت مجموعة من معايير الأداء وأن الخوارزميات التي قللت من زمن التقارب زادت من عدد الحزم التحكم وبالعكس، كما وجدنا أن خوارزمية Adaptive-k أفضل من غيرها كونها قللت عدد حزم التحكم وتأخيرها ومقدار الطاقة المستخدمة.

الكلمات المفتاحية: خوارزمية التقطير، انترنت الأشياء، بروتوكول RPL ، نظم موزعة.

Evaluation and comparing the performance of improvements to the IoT Trickle algorithm

Eng.Manal Alomar

Dr.Mohssen Abboud

Abstract

The Trickle algorithm introduced and standardized in RFC 6206 has gained great popularity as it can ensure data inconsistency resolution in distributed environments accurately and quickly with low maintenance cost and good support for scaling and increasing network density. For these attractive features, Trickle forms the basis of many Internet standards and is deployed in many applications such as reliable broadcasting, service discovery, distributed resources, as well as routing protocols, including the RPL protocol used in Internet of Things networks. In this paper, we compared the most important studies that improved the Trickle algorithm in order to reduce the cost required to solve the discrepancy in routing information in the RPL protocol. We compared them in terms of convergence time, number of control packets sent in the network, amount of energy consumption, packet delivery rate and latency time. We found that each algorithm improved a set of performance parameters, and the algorithms that reduced the convergence time increased the number of control packets and vice versa, and we also found that the Adaptive-k algorithm is better than others as it reduces the number of control packets, their latency, and the amount of energy used.

KEYWORDS: Trickle algorithm, Internet of Things, RPL protocol, distributed system.

1. المقدمة:

تتطلب شبكات LLN (Low-Power and Lossy Networks) بناء طوبولوجيا الشبكة بأسلوب يتسم بالكفاءة والسرعة، وبالتالي من الضروري وجود خطة فعالة لاختيار اتجاه البيانات والتوجيه بشكل سريع. يعتمد RPL (IPv6 Routing Protocol for LLN) وهو بروتوكول التوجيه في شبكات LLN من أجل الحفاظ على الطاقة والحفاظ على طوبولوجيا الشبكة مع أقل تكلفة للتوجيه خوارزمية Trickle التي تضمن الانتشار السريع لمعلومات التوجيه وتكلفة صيانة منخفضة لطوبولوجيا الشبكة. تستخدم هذه الخوارزمية أسلوب يسمى بالثرثرة المهذبة "polite gossip" وتعني أن المشارك لن ينشر ثرثرة إذا قام شخص آخر بذلك بالفعل وبالتالي بواسطة خوارزمية Trickle يتم التنظيم الذاتي لتبادل الحزم مع العقد المجاورة [2]. سنقوم في هذا البحث بتقييم أداء أهم التحسينات على خوارزمية Trickle في انترنت الأشياء.

2. مشكلة البحث:

على الرغم من الجهود البحثية الموجودة لتحسين خوارزمية Trickle إلا أنه لا توجد دراسات شاملة تعمل على تقييم أداء هذه الخوارزميات المقترحة ومقارنتها مع بعضها البعض لتحديد ميزات وعيوب كل منها وتحديد أفضلها.

3. الهدف من البحث:

يهدف هذا البحث إلى تحقيق برمجي لأغلب خوارزميات Trickle الموجودة في الدراسات وذلك من خلال فهم الكود البرمجي الخاص ببروتوكول RPL و كيفية تحقيق خوارزمية Trickle داخله، ثم التعديل على الملفات الخاصة بخوارزمية Trickle ضمن بروتوكول RPL ومن ثم تقييم أداء هذه الخوارزميات والمقارنة فيما بينها.

4. أهمية البحث:

نظرًا لحقيقة أن بروتوكول التوجيه هو أحد الأعمدة الرئيسية لهندسة الشبكات، ويتوقع بثقة ضرورة وجود شبكات LLN، أصبح RPL سريعًا بروتوكول التوجيه الفعلي لـ IoT، علاوة على ذلك لأن RPL هو بروتوكول التوجيه الموحد الوحيد لشبكات LLN حتى الآن، فإن عدد الأعمال المنشورة حول RPL يزداد كل عام بشكل واضح ومن أهمية خوارزمية Trickle في ضبط انتشار بيانات توجيه بروتوكول RPL تتبع أهمية بحثنا هذا الذي يقدم دراسة شاملة لأهم التحسينات على هذه الخوارزمية وتقييمها ومقارنتها وتقديم الاقتراحات للمهتمين في هذا المجال.

5. انترنت الأشياء:

يعرف انترنت الأشياء (IoT) بأنه شبكة معقدة تربط مليارات الأجهزة والبشر في بنية تحتية متعددة التقنيات ومتعددة البروتوكولات، تتمثل الرؤية الرئيسية لإنترنت الأشياء في خلق عالم ذكي يوفر مزيدًا من الذكاء للطاقة والصحة والنقل والمدن والصناعة والمباني والعديد من المجالات الأخرى، سيتم تحقيق ذلك من خلال جعل الكائنات التي نتعامل معها يوميًا مزودة بأجهزة استشعار ومحدد هوية ومحدد مواقع ولها عنوان IP لتصبح كائنات ذكية وقادرة على التواصل ليس فقط مع الكائنات الذكية الأخرى ولكن أيضًا مع البشر [3].

6. شبكات الخسارة والطاقة المنخفضة Low-Power and Lossy Networks (LLNs) [5]:

تعتبر LLN تمكين الشبكات اللاسلكية لإنترنت الأشياء (IoT) وهي واحدة من لبنات بناء انترنت الأشياء تتألف LLN من مجموعة من الأجهزة المدمجة المترابطة والتي تتميز عادة بالقيود على موارد العقدة وتقنيات الاتصال الأساسية [6]. يعتبر استخدام بروتوكول IP كبروتوكول أساسي لـ LLN ذو فوائد واضحة. حيث يمكن هذه الأجهزة من الاتصال

بالإنترنت ويسمح أيضاً لهذه الأجهزة بالاستفادة من الواجهات القياسية المستندة إلى الويب وأدوات الإدارة القياسية ومع ذلك لم يتم تصميم بروتوكولات TCP / IP لدعم الأجهزة منخفضة الطاقة التي تعمل في بيئة شديدة الخسارة لذلك هناك مجموعة واسعة من البروتوكولات اللاسلكية المختلفة المستخدمة لتوصيل هذه الأجهزة بالإنترنت ومن أهم البروتوكولات التي تمكن IP من العمل بفعالية في بيئة محدودة الموارد ومتعرضة للخسارة نذكر IPv6 Routing و IPv6 over Low power WPAN's (6LoWPAN) [7] Protocol for LLNs(RPL).

1-6 . بروتوكول توجيه IPv6 للشبكات منخفضة الطاقة والخسارة (RPL) [2]:
هو بروتوكول توجيه IPv6 لشبكات LLNs حيث تم اقتراحه للشبكات ذات الوصلات المفقودة التي تكشف عن معدل عالي في أخطاء الحزم وبالإضافة إلى فصل وانقطاع الوصلات. يعتبر بروتوكول RPL من النوع Source Routing (path addressing) حيث يسمح لمُرسل الحزمة بتحديد المسار الذي تتبعه الحزمة عبر الشبكة جزئياً أو كلياً ويتيح للعقدة اكتشاف جميع الطرق الممكنة للهدف كما يوفر RPL دعم التوجيه لنقل البيانات إما multicast أو unicast. تنظم RPL طوبولوجيا الشبكة على شكل DAG (Directed Acyclic Graph) الذي يتم تقسيمه إلى واحد أو أكثر من DODAG (Destination Oriented DAGs) حيث يتم تحديد المسارات الافتراضية بين العقد في LLN بواسطة هذه البنية الشجرية. يمكن أن تنتمي العقدة الموجودة في DAG إلى أكثر من والد مقارنة بالشجرة التقليدية. ترتبط العقد في بنية DODAG ليس فقط بوالدها ولكن أيضاً مع العقد الأخوية [8]. يكون جذر هذه الشجرة في عقدة المصرف ويعمل هذا الجذر كنقطة عبور إلى شبكات IPv6 ويتميز بكونه عقدة لا تحتوي على نفس القيود مثل عقدة المستشعر ويسمى جهاز التوجيه الحدودي. علاوة

على ذلك يتم التحكم في إرسال التحديثات إلى العقد الأخرى بواسطة جهاز التوجيه الحدودي.

6-1-1 . رسائل التحكم في RPL [8]:

(a) **IDODAG Information Solicitation (DIS)**: يتم إرسال هذه الرسالة من خلال عقد جديدة للانضمام إلى DODAG تلتمس من خلالها كائن المعلومات (DIO) من عقدة RPL.

(b) **DODAG Information Object (DIO)**: رسالة بث مرسله بواسطة عقدة الجذر لإنشاء DODAG يحتوي DIO على معلومات عامة مثل RPLInstanceID أو الترتيب أو DODAGID ، ، إلخ.

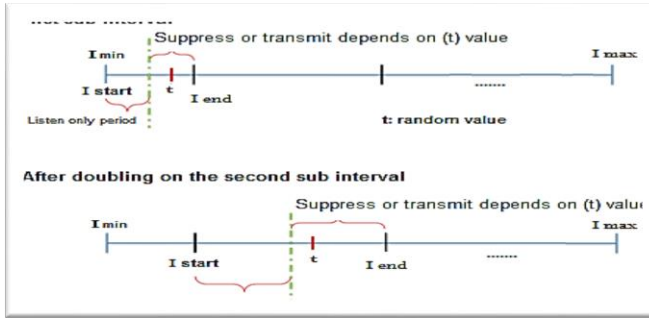
(c) **Destination Advertisement Object (DAO)**: إنها رسالة تُستخدم لإنشاء مسارات توجيه للأسفل من جذر DODAG إلى العقد الأخرى.

(d) **Destination Advertisement Object (DAO-ACK)**: ترسل هذه الرسالة من قبل مستلم رسالة DAO (جذر الـ DODAG) كرد على رسالة DAO أحادية الإرسال المستلمة. تحتوي على البيانات المتعلقة بالحالة، تسلسل DAO، ومعرف حالة الـ RPL .

6-1-2 . خوارزمية Trickle [9]:

يتكون RPL من مجموعة من الخوارزميات، لكل خوارزمية مهام محددة. الخوارزمية الرئيسية في RPL هي خوارزمية Trickle Timer. يتمثل الهدف الرئيسي لخوارزمية Trickle Timer في إدارة عملية الإرسال في الشبكة، حيث تقوم Trickle بتقليل نشر الرسائل التي لا تحتاج إلى إعادة الإرسال مثل الرسائل المتكررة في الشبكة. يتم ذلك باستخدام آليتين الأولى تحدث عندما تظهر حالة عدم تناسق في الشبكة، تزيد الخوارزمية من معدل التحكم في الإشارة لتعود إلى الوضع التوافقي في الشبكة، والثانية تحدث عند تكرار نفس الرسالة في الشبكة والعقد لم تعد بحاجة

إليها لأنها متصلة بجيرانها تعمل عندها الخوارزمية على كبح ارسال الرسالة وهذا يساعد على تقليل الرسائل المنتشرة على الشبكة وتوفير الطاقة. تقوم خوارزمية Trickle بتعيين الفاصل الزمني الرئيسي لكل عقدة في الشبكة، ويبدأ هذا الفاصل الرئيسي من I_{min} وينتهي عند I_{max} حيث كل من I_{max} و I_{min} متغيرات. تقسم العقدة الفاصل الزمني الرئيسي الخاص بها إلى مجموعة من المناطق الفرعية، كل فاصل زمني يبدأ من I_{start} وينتهي في I_{end} و I_{end} و I_{start} هي متغيرات. يبدأ التنفيذ من الفترة الفرعية الأولى في العقدة، وعند انتهاء الفترة الفرعية الأولى يبدأ الفترة الفرعية التالية، وما إلى ذلك حتى ينتهي من جميع المناطق الفرعية عندما يصل المؤقت إلى قيمة I_{max} .

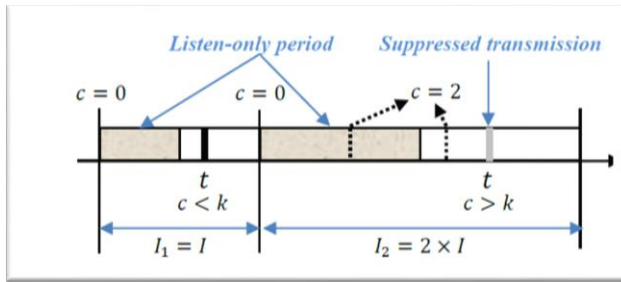


الشكل (1) خوارزمية Trickle القياسية لكل عقدة [9].

تحتوي خوارزمية Trickle القياسية على ثلاثة بارامترات أساسية:

- I_{max} : الحد الأقصى لحجم الفاصل الزمني يوصف I_{max} على أنه عدد من مضاعفات I_{min} .
 - I_{min} : الحد الأدنى لحجم الفاصل.
 - K : القيمة الحدية وتسمى أيضاً بثابت التكرار k .
- محلياً، تحافظ كل عقدة في الشبكة على مؤقت وثلاثة متغيرات:
- a : حجم الفاصل الحالي.

- C: عدد لعدد رسائل Trickle المستلمة أثناء الفاصل الحالي ويسمى عدد الاتساق.
- t: وقت الإرسال وهو عشوائي محدد داخل الفاصل الحالي (a و $1/2$). يمكن التعبير عن خوارزمية Trickle من خلال القواعد أو الخطوات الستة أدناه[1]:
 1. **الخطوة 1:** عندما يبدأ Trickle التنفيذ فإنه يختار (a) بشكل عشوائي وموحد من $[Imin, Imin*2Imax]$ ويبدأ الفاصل الأول.
 2. **الخطوة 2:** عند بدء فاصل زمني (a) تعيد Trickle إعادة تعيين c إلى 0 وتختار t بشكل عشوائي من النطاق $[1, 1/2]$.
 3. **الخطوة 3:** كلما سمعت عقدة انتقال متناسق مع بياناتها تزيد Trickle عدد الاتساق c.
 4. **الخطوة 4:** في الوقت t يرسل Trickle إذا كان $(c < k)$ فقط وخلاف ذلك يتم قمع الإرسال.
 5. **الخطوة 5:** عند انتهاء الفاصل الزمني a يضاعف Trickle طول الفاصل حتى الوقت المحدد بواسطة $Imax$ ثم يبدأ فاصل زمني جديد كما في الخطوة 2.
 6. **الخطوة 6:** إذا سمع Trickle انتقال غير متناسق بينما a أكبر من $Imin$ فإنه يصفر المؤقت. للقيام بذلك يقوم Trickle بجعل a يساوي $Imin$ ويبدأ فاصلاً جديداً كما في الخطوة 2، وإلا مثلاً a تساوي $Imin$ عند اكتشاف التناقض ولن يفعل Trickle شيئاً. يضمن اختيار t من النصف الثاني من الفاصل الزمني في الخطوة 2 فترة استماع تعادل فقط نصف الفاصل ويتم ذلك استجابة لمشكلة الاستماع القصير.



الشكل (2) خوارزمية Trickle على فترتين مع $k = 1$. الخط الأسود عبارة عن عملية ارسال ونقل، والرمادي هو ارسال تم منعه والخطوط المنقطه هي عمليات استقبال رسائل [1].

7. الدراسات السابقة:

قام الباحث في الدراسة [23] بدراسة أداء RPL ، مع التركيز على تقييم أداء ثلاثة أشكال مختلفة من خوارزمية Trickle وهي Trickle و Optimized Trickle و E-Trickle وأجرى الفريق جميع الاختبارات على بيئة محاكاة باستخدام محاكي الشبكة Cooja. تم استخدام نمطين لتموضع العقد في الشبكة وهما التموضع العشوائي والمنتظم وعدد العقد المستخدم 10 و 40 و 80 وزمن المحاكاة 15 دقيقة . تمت المقارنة بين الخوارزميات من حيث زمن التقارب ومعدل تسليم الحزم و Radion on time و أوضحت النتائج أنه كلما ازداد Imin كلما ازداد زمن التقارب وأن زمن التقارب متقارب لدى Optimized Trickle و E-Trickle أما بالنسبة لعدد الحزم المرسله وجد أن E-Trickle عدد الحزم المرسله فيه أقل من غيره. بالنسبة لـ Radion on time كلما كان Imin أكبر كلما أصبح هذا الزمن متقارب لدى الخوارزميات الثلاثة وعند القيم الصغرى لـ Imin يكون هذا الزمن في Optimized Trickle واستنتج الباحث حساسية خوارزميات Trickle للتغيرات في تكوين الشبكة وكثافتها.

تم في الورقة [24] مقارنة مجموعة من خوارزميات Trickle في بروتوكول RPL . تم إجراء مقارنة باستخدام البارامترات التالية مثل ثابت التكرار (Redundancy

(Constant(k) وعدد العقد والحد الأدنى لطول الفاصل الزمني الأول (Imin) والحد الأقصى لطول الفاصل الزمني (Imax) ووسط الراديو المستخدم في عملية المحاكاة ووقت الإرسال (Transmission time) ووقت المحاكاة ، وقد لوحظ أنه عند انخفاض زمن تقارب الشبكة يزداد استهلاك الطاقة وعندما يزداد زمن تقارب الشبكة ينخفض استهلاك الطاقة. يتناقص وقت تقارب الشبكة مع انخفاض قيمة Imin لأنه مع انخفاض قيمة Imin يتم إرسال حزم DIO بسرعة ، مما يؤدي إلى مزيد من استهلاك الطاقة ويزيد وقت تقارب الشبكة مع ارتفاع قيمة Imin لأن حزم DIO يتم إرسالها بمعدل بطيء وبالتالي فإن ينخفض استهلاك الطاقة أيضاً. إجمالي عدد الحزم المرسله أقل في خوارزمية E-Trickle أما إجمالي عدد الحزم المرسله يتناسب طردياً مع استهلاك الطاقة. يتناقص تأخير الشبكة أيضاً مع زيادة قيم Imin لأنه بسبب القيم الكبيرة لـ Imin يتم إرسال الحزم بمعدل بطيء جداً وبالتالي تمنع الاصطدامات كما تمنع إعادة إرسال الحزم.

تتميز دراستنا هذه عن هذه الدراسات السابقة بأننا سنقارن بين تسع خوارزميات Trickle مع الأخذ بعين الاعتبار اختلاف عدد العقد وسنقارن الأداء ليس فقط من حيث زمن التقارب بل أيضاً من حيث التأخير واستهلاك الطاقة ومعدل تسليم الحزم وعدد حزم التحكم المرسله على الشبكة.

8. التحسينات على خوارزمية التقطير في RPL:

- **Trickle-F** : اقترح الباحث في [11] نسخة معدلة من خوارزمية Trickle وهي Trickle-F والتي تهدف إلى حل مشكلة موازنة التحميل من خلال ضمان آلية عادلة لكبح البث على المدى القصير بين العقد في المنطقة لتسهيل الاكتشاف السريع لجميع المسارات المتاحة. يتمثل الأساس المنطقي وراء Trickle-F في تحديد أولوية كل عقدة اعتماداً على عدد عمليات القمع المتتالية بمعنى أنه كلما

طال الوقت الذي تقضيه العقدة دون الإرسال زادت أولويتها للإرسال في الجولة التالية.

- **I-Trickle**: الخوارزمية المقترحة في [12] والتي تدعى I-Trickle تضع قيمة عداد التكرار redundancy counter عند قيمة الصفر ليس في بداية الفاصل الزمني الجديد ولكن في وقت منع أو إرسال رسالة كائن معلومات DODAG في خوارزمية Trickle من أجل حل مشكلة موازنة الحمل وتقليل استهلاك الطاقة من خلال مراعاة الرسائل التي يتم سماعها من وقت t إلى نهاية الفاصل الزمني.
- **Optimized Trickle**: تم الاقتراح في [1] تحسين بسيط وقوي يقلل من التأخير دون تكبد أي نفقات عامة إضافية. في هذه الخوارزمية المحسنة عندما يتم اكتشاف عدم تناسق، يعيد تعيين I إلى Imin الذي يتم أيضاً في خوارزمية Trickle الأصلية. لكنه يقول أنه في هذا الوقت سيختار الوقت العشوائي t في [0, Imin] بدلاً من [I/2, I] كما هو الحال في خوارزمية Trickle الأصلية.
- **E-Trickle**: في الورقة [14] تم اقتراح نسخة محسنة من Trickle وهي E-Trickle حيث تقدم هذه الخوارزمية ثلاث تعديلات لخوارزمية Trickle. أولاً بدلاً من تحديد الوقت العشوائي t من النطاق [I/2, I] يتم تحديد قيمة t من النطاق [0, I]. ثانياً بدلاً من تعيين عداد التكرار c على قيمة 0 في بداية كل فاصل زمني يتم تعيين c إلى قيمة 0 فقط في بداية الفاصل الزمني الأول Imin وأيضاً في الوقت الذي تم اختياره عشوائياً t وذلك من أجل القضاء على التأثير التراكمي لمشكلة الاستماع القصير. كما قد يلاحظ المرء، فإن ضبط عداد التكرار c إلى 0 في الوقت المحدد عشوائياً سيؤدي إلى فواصل زمنية غير متساوية بين العقد من حيث الطول وبالتالي، فإن العقد ذات طول الفاصل الأقل سيكون لها فرص أكبر للإرسال. للتغلب على هذا الموقف تم إضافة خطوة ثالثة لتعديل قيمة عامل التكرار k حيث تصبح قيمته $(newk = ((2 * \ln z - 1) / I) * k)$ بشكل متكيف لتعكس التمدد الذي يحدث في حجم الفاصل .

- **Adaptive-k**: يقترح الباحث في [15] امتداداً لخوارزمية Trickle التي تسمى adaptive-k والتي تسمح للعقد بتعيين ثابت التكرار الخاص بها وفقاً للمعلومات المحلية حول كثافة الشبكة. حيث تعتمد كل عقدة على العداد c لتخمين عدد جيرانها وتسمح للعقد بتعيين قيمتها k بشكل مستقل .
- **Trickle-Plus**: يوجد في [17] نسخة موسعة من خوارزمية Trickle. في هذه النسخة بدلاً من زيادة حجم نافذة الإرسال أضعافاً مضاعفة، يتم وضع حجم الفاصل الزمني الجديد بالقيمة $(I * SF * 2)$ حيث SF هو عامل الازاحة ويعني عدد مرات مضاعفة الفاصل الزمني التي يمكن تخطيها، وبالتالي تتقارب الشبكة بسرعة مع استهلاك أقل للطاقة.
- **RANDOMIZED DYNAMIC TRICKLE**: اقترح الباحث في [19] تحسيناً لخوارزمية Trickle القياسية مرتبطاً بقيمة t . في الخوارزمية المقترحة يتم تحديد وقت لفترة الاستماع وفترة الإرسال بناءً على قيمة t ضمن فترة زمنية فرعية. المتغير t هو وقت عشوائي يستخدم كمحدد للاستماع والإرسال. لذلك يركز هذا العمل بشكل أساسي على اختيار قيمة t . حيث يتم اختيار قيمة t وفقاً لكثافة الشبكة، لتحقيق ذلك يتم اقتراح أربع حالات لاختيار قيمة t أفضل في الفترة الفرعية. في كل مرة يتم التحقق من عدد الجيران (C) لتحديد النطاق الذي يجب أن يتم اختيار فيه وقتاً عشوائياً (t).
- **FL-Trickle**: قدم الباحثون في [21] تحسيناً جديداً لخوارزمية Trickle القياسية وهي خوارزمية Flexible Trickle (FL-Trickle) تقلل FL-Trickle من التأخير في إرسال رسائل التحكم عن طريق تحديد وقت الإرسال T عند $1/2$ بدلاً من اختياره بشكل عشوائي في $[1, 1/2]$. تقلل FL-Trickle من معدل النقل من خلال العمل بقيمة عالية من الحد الأدنى للفاصل الزمني (I_{min}) من أجل الحصول على عبء منخفض مع عدم وجود زيادة في استهلاك الطاقة.
- **Elastic Trickle**: تحاول الخوارزمية المرنة المقترحة في [22] التعامل مع مشكلة فترة الاستماع فقط حيث تم اكتشاف أن فترة الاستماع تأثرت بعدد الجيران.

تتمثل المساهمة الرئيسية لهذه الخوارزمية أنها تتيح الاختيار الديناميكي لفترة الاستماع فقط بناءً على عدد الجيران أو العقد المحيطة.

9. القسم العملي :

9-1. نظام التشغيل Contiki ومحاكي الشبكات Cooja [16]:

تم اختيار Contiki لأنه تم تصميمه خصيصاً لأجهزة IoT منخفضة الطاقة والخسارة ولديه تطبيق أساسي لخوارزمية Trickle في مكتبة ContikiRPL التي سيتم استخدامها كأساس لبحثنا . كما تم اختيار المحاكي Cooja الذي يعمل على نظام تشغيل Contiki (الإصدار 3.0). يعتمد اختيار هذا المحاكي على اعتبارين رئيسيين: الأول هو محاكي مفتوح المصدر مصمم لتطبيقات إنترنت الأشياء. ثانياً يجعل تعديل وتحسين خوارزمية Trickle سهلاً جداً بسبب تنفيذه على RPL الأساسي. كما يوفر محاكي Cooja أدوات لإخراج البيانات من كل اختبار بسهولة شديدة بتنسيق قابل للقراءة. هذا ما يسهل علينا استخراج البيانات منها وإنتاج الرسوم البيانية من المخرجات باستخدام نصوص Perl لتصفية البيانات الناتجة إلى مقاييس الأداء المرغوب فيها، بالإضافة إلى ذلك يوفر هذا المحاكي أداة تدعى collect view التي يمكن للمبرمج دمجها بالكود الخاص به وتعرض معلومات ومخططات مفيدة في عملية قياس الأداء.

9-2. المقاييس المستخدمة لتقييم الأداء ومقارنته:

- **The Convergence Time (setup time):** وقت تقارب الشبكة مقدار الوقت الذي تحتاجه جميع العقد القابلة للوصول (من حيث الراديو) في الشبكة للانضمام إلى DAG.

$$\text{Convergence Time} = \text{Last DIO joined DAG} - \text{First DIO sent}$$

- **Energy Consumption**: مقدار استهلاك الطاقة بالميلي واط من قبل كل من المعالج والاستماع والارسال ونمط توفير الطاقة LPM.
- **Control Traffic Overhead**: وهذا يشمل رسائل DIO و DIS و DAO التي تم إنشاؤها بواسطة كل عقدة.

$$\text{Control Traffic Overhead} = \sum_{k=1}^n \text{DIO}(k) + \sum_{k=1}^m \text{DIS}(k) + \sum_{k=1}^o \text{DAO}(k)$$
- **Packet Latency**: زمن تأخر الحزمة. يُعرف زمن التأخر بأنه مقدار الوقت الذي تستغرقه حزمة من العقدة للوصول إلى جهاز التوجيه الحدودي أو المصرف وهو متوسط زمن الوصول لجميع الحزم في الشبكة من جميع العقد.

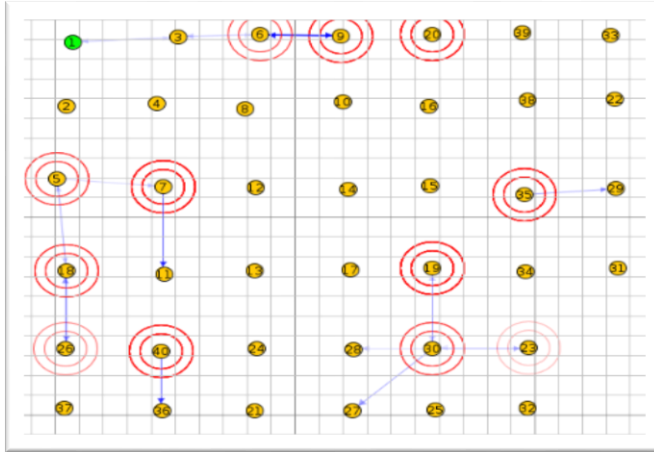
$$\text{Total Latency} = \sum_{k=1}^n (\text{Recv Time}(k) - \text{Sent Time}(k)).$$
- **Packet Delivery Ratio (PDR)**: ويتم تعريفه على أنه عدد الحزم المستلمة في المصرف إلى عدد الحزم المرسله إليه. نأخذ متوسط PDR لجميع الحزم التي تم استلامها بنجاح في المصرف.

$$\text{Average PDR} = (\text{Total Packets Received} / \text{Total Packets Sent}) * 100$$

3-9. معاملات المحاكاة [23]:

قمنا بإجراء اختبارات مكثفة لتحديد مدة تشغيل المحاكاة بحيث يكون للقيم التي تم الحصول عليها تبايناً صغيراً وللتأكد من أن وقت إعداد الشبكة لم يؤثر بشكل كبير على النتائج. نظراً لأن الاختبارات التي تم إجراؤها لمدة 7 دقائق أسفرت عن نتائج مشابهة لتلك التي أجريت لمدة 20 دقيقة، فقد اخترنا 7 دقائق كوقت المحاكاة لجميع عمليات محاكاة Cooja. تحوي طوبولوجيا الشبكة على 20 ثم 40 عقدة عميل في منطقة 100 م × 100 م. تمثل العقدة 1 في الزاوية اليسرى العليا جهاز التوجيه الحدودي. يتم وضع جهاز توجيه الحدود في الزاوية بحيث تكون هناك عقدة

ذات مسافات إرسال متعددة القفزات من جهاز توجيه الحدود. يوضح الشكل التالي
طوبولوجيا الشبكة المستخدمة في المحاكاة:



الشكل (3) طوبولوجيا الشبكة المستخدمة في المحاكاة تحوي 40 عقدة بمصرف واحد.

9-4. مستوى التطبيق Application Level:

لتشغيل الاختبارات قمنا باستخدام نموذج تطبيق UDP Contiki يسمى "Hello World!". يرسل هذا التطبيق البسيط رسالة "مرحباً" في فاصل زمني محدد. بحيث ترسل كل عقدة عميل رسالة "مرحباً" إلى جهاز التوجيه الحدودي. يستخدم موجه الحدود الملف udpserver.c وجميع عُقد المستشعر تستخدم الملف udp-client.c. لقد قمنا بتعديل شيفرة المصدر لـ RPL في Contiki لكتابة خوارزميات Trickle حيث تم التعديل على الملف rpl-timers.c. سنستخدم ملحق Cooja المسمى Contiki Test Editor لقياس وقت المحاكاة وإيقاف المحاكاة بعد الوقت المحدد. ينشئ هذا البرنامج المساعد أيضاً ملف سجل (COOJA.testlog) لجميع مخرجات المحاكاة التي سنقوم بتحليلها في نهاية المحاكاة باستخدام برنامج نصي مكتوب بلغة Perl. من أجل إدخال الضياع في الوسط اللاسلكي نستخدم

Cooja Unit Disk Graph Medium، الذي يقدم الضياع فيما يتعلق بالمسافات النسبية للعقد في وسيط الراديو. كما هو موضح في الجدول التالي، فإن تأخير البدء start delay هو تأخير البدء الأولي للتطبيق لبدء إرسال الرسائل إلى عقدة المصدر. وقت البدء الأولي هذا هو الوقت التقريبي الكافي لتقارب الشبكة الأولي. وهذا يضمن أيضاً عدم فقدان الحزمة المرسلة إلى الخادم بسبب نقص اتصال الشبكة. لذلك يمكن إجراء تقييم صحيح لعدد الحزم المرسلة. قمنا بتعيين RPL mode of operation \downarrow No Downward routes لأننا مهتمون باستخدام multipoint to point traffic لهذا البحث. يتم تعيين DIO Min و DIO Doublings على القيم الافتراضية في ContikiRPL. تمثل نسبة الاستقبال (RX) مدى ضياع الوسيط الراديوي ويتم تعيينه بالنسب المئوية أثناء التكرار المتتالي للمحاكاة. يتم تعيين نسبة الإرسال (TX) على 100% (بدون خسارة) لأننا لا نهدف إلى إحداث خسائر عند طرف الإرسال ولكن فقط عند طرف الاستقبال. تم ضبط نطاق TX على 50 م ونطاق التداخل على 55 م.

الجدول (1) اعدادات المحاكاة.

Parameters	Value
Start Delay	65 s
RPL MOP	NO_DOWNWARD_ROUTE
OF	ETX
DIO Min	12
DIO Doublings	8
RDC Chanel Check Rate	16
Send Interval	4 s
RX Ratio	30-100%
TX Ratio	100%
TX Range	50m
Interference Range	55m
Simulation Time	7 min
Client Nodes	19-39

10. التجارب والنتائج: قمنا ومن أجل كل خوارزمية بإعادة التنفيذ عشر مرات وأخذ متوسط القيم الناتجة عن التجارب وذلك بعد استخراج القيم الشاذة والمتطرفة لبعض التجارب بتطبيق قانون المدى الربيعي عن القيم العشر الناتجة.
- مثال لنتيجة تحليل الملف COOJA.testlog باستخدام ملف التحليل analysis.pl الذي قمنا بكتابته بلغة PERL وذلك لخوارزمية Trickle الأصلية:

```

user@instant-contlkl:~/contlkl-3.0/perl$ perl analysis.pl COOJA.testlog
NETWORK SETUP TIME
=====
First DIO      Last DIO joined DAG      Setup Time(ms)
1136934.000    11603688.000             10466754.000

ENERGY CONSUMPTION
=====
Nodes  Total Transmit ticks  Total Listen ticks  Total Consumption(ticks)  Total cpu  Total lpm  Total Time  %Radio ON Time
20     2816612                2732615             5549227                   7308820   235490414  242799234  2.286

NETWORK TRAFFIC
=====
DIO     DIS     DAO
272     16      71

NETWORK LATENCY
=====
Average Latency(us)  no of SendPackets  Lost Packets
482273               114                 3
    
```

الشكل (4) نتيجة تحليل ملف الخرج COOJA.testlog حالة خوارزمية Trickle وشبكة تحتوي 20 عقدة.

```

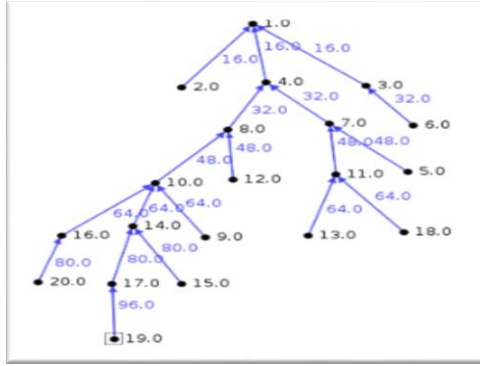
user@instant-contlkl:~/contlkl-3.0/perl$ perl analysis.pl COOJA.testlog
NETWORK SETUP TIME
=====
First DIO      Last DIO joined DAG      Setup Time(ms)
1405564.000    28286209.000             26880645.000

ENERGY CONSUMPTION
=====
Nodes  Total Transmit ticks  Total Listen ticks  Total Consumption(ticks)  Total cpu  Total lpm  Total Time  %Radio ON Time
20     9259804                7457961             16717765                   20139432  478240540  498379972  3.354

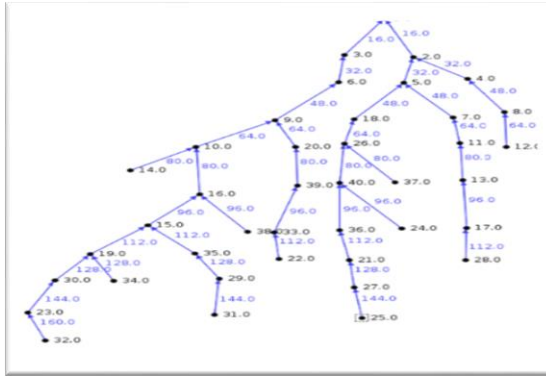
NETWORK TRAFFIC
=====
DIO     DIS     DAO
560     37      140

NETWORK LATENCY
=====
Average Latency(us)  no of SendPackets  Lost Packets
1190538              232                 19
    
```

الشكل (5) نتيجة تحليل ملف الخرج COOJA.testlog حالة خوارزمية Trickle وشبكة تحتوي 40 عقدة.



الشكل(6) DAG الذي رسمه collect view للشبكة ذات 20 عقدة.



الشكل(7) DAG الذي رسمه collect view للشبكة ذات 40 عقدة.

❖ زمن التقارب (us) The Convergence Time :

- الحالة الأولى شبكة تحتوي 20 عقدة موزعة بشكل منتظم:

الجدول(2) متوسط زمن التقارب لجميع الخوارزميات حالة شبكة تحوي 20 عقدة.

Setup Time (us)										
Trickle	Trickle-F	I-trickle	Opt-trickle	E-trickle	Adaptive-k	Trickle-pluse	RD-trickle	Elastic	FL-TRICKLE	
10466754	17260865	7274411	9035959	7351746	8768046	61853419	11014344	10466754	61726613	
16369081	18955983	5442737		9194282	7808196	13679747	9841182	9533161	13679746	
9533161	10660428	8788513	13258077	13916589	6542192	20662655	9917260	8782110	20662654	
8782110	12763070	5948167	10208975	11039528	15819565	3197414	8983927	8502929	3197413	
8498822	9681074	9733645	12492798	9083203	22056277	4733141	7733250	9686831	4733140	
8502929	8128507	11899815	8749572	13923068	15943608	13672640	13076755	7375552	13672639	
9086831	6314797	5348359	9562640	15018232	16042928	74792083	7046437		61543051	
7375552	7251512	8516019	9016730	9074613	11146087	14364353	10037163	9159267	14364352	
14160756	13606881	11312996	15626160	11806052	11252043	4773977	11991922	10118982	4773976	
9159267	5909226	5543032	6803483	6610987	9283698	4986705	12758695	4910154	4986704	
10253526.3	10253234.3	7980769.4	10528266	10761830	12466264	21671613.4	10240085.5	8726193.3	20334028.8	
10.2535	10.2532	7.980769	10.528	10.76183	12.466	21.671	10.240	8.726	20.334	

• الحالة الثانية شبكة تحتوي 40 عقدة موزعة بشكل منتظم:

الجدول (3) متوسط زمن التقارب لجميع الخوارزميات حالة شبكة تحوي 40 عقدة.

Setup Time (us)										
Trickle	Trickle-F	I-trickle	Opt-trickle	E-trickle	Adaptive-k	Trickle-pluse	RD-trickle	Elastic	FL-TRICKLE	
40855140	17416753	14648808	18690322	15697059	12159532	32735529	19773911	40855140	32238323	
17349523	22843382	20303758	28176269	20042679	14385461	19246403	15118974	17349523	21370268	
28357626	24867018	14207715	28031817		23203283	21856557	16944038	28357626	61855013	
59416653	29786928	21170419	11496959	15649791	18098253	61974434	13375698	59416653	39973721	
17475566	16936437	115724071	22290039	17908915	18992852	21185596	22608196	17475566	31624718	
26880645		11190896	15718811	19386832	31734759	13953223	22931517	26880645	14365945	
11891187	10466855	15857995	38599504	16033311	14633906	18371649	24178340	11891187	18371648	
14534196	14365159	9630225	28842332	24203226	14806070	25333581	22413630	14534196	25085222	
16111137	15625516	27390313	15698690	26818759	11460205	20880805	13377894	16111137	75080878	
21510616	17989376	16870917	18965362	15469556	17853004	61260884	15523752	21510616	71885237	
25438228.9	19588602.6	16699511.7	22651010.5	17121012.8	17732812.5	29679866.1	18624595	25438228.9	39177817.3	
25.438	19.58	16.69	22.65	17.12	17.73	29.67	18.624	25.438	39.177	
18.62										

❖ Traffic Overhead (عدد حزم التحكم):

• الحالة الأولى شبكة تحتوي 20 عقدة موزعة بشكل منتظم:

الجدول (4) متوسط عدد حزم التحكم لجميع الخوارزميات حالة شبكة تحوي 20 عقدة.

Traffic Overhead										
Trickle	Trickle-F	I-trickle	Opt-trickle	E-trickle	Adaptive-k	Trickle-pluse	RD-trickle	Elastic	FL-TRICKLE	
306	300	364	359	388	283	187	364	359	199	
332	324	478		456	311	171	374	411	177	
291	366	358	336	505	285	188	448	377	264	
312	314	391	374	421	324	194	354	366	183	
288	358	430	410	457	299	184	392	342	196	
352	344	372	354	420	329	183	379	382	186	
321	295	375	352	429	286	188	521		203	
382	317	375	364	430	323	184	389	383	181	
342	306	418	366	436	323	177	358	353	192	
383	333	438	337	512	288	168	441	382	177	
330.9	325.7	399.9	361.3	445.4	305.1	182.4	402	372.7	195.8	

• الحالة الثانية شبكة تحتوي 40 عقدة موزعة بشكل منتظم:

الجدول (5) متوسط عدد حزم التحكم لجميع الخوارزميات حالة شبكة تحوي 40 عقدة.

Traffic Overhead										
Trickle	Trickle-F	I-trickle	Opt-trickle	E-trickle	Adaptive-k	Trickle-pluse	RD-trickle	Elastic	FL-TRICKLE	
878	856	1063	782	883	741	409	885	878	436	
933	778	916	767	1106	642	377	763	933	376	
755	777	871	766	796	796	366	946	775	389	
971	877	915	800	1086	635	575	831	971	458	
720	819	829	832	873	666	438	910	720	447	
737		787	855	856	697	347	853	737	415	
931	932	921	1058	828	627	359	785	931	406	
795	1035	815	842	843	701	405	823	795	458	
806	728	800	870	874	662	360	816	806	487	
788	829	803	730	910	624	407	959	788	406	
831.4	847.8	872	830.2	917.6	679.1	404.3	857.1	833.4	427.8	

❖ :Network Latency(us)

- الحالة الأولى شبكة تحتوي 20 عقدة موزعة بشكل منتظم:

الجدول (6) متوسط زمن تأخير الحزم لجميع الخوارزميات حالة شبكة تحوي 20 عقدة.

NETWORK LATENCY(us)										
Trickle	Trickle-F	I-trickle	Opt-trickle	E-trickle	Adaptive-k	Trickle-pluse	RD-trickle	Elastic	FL-TRICKLE	
532308	442046	370629	489332	499127	588875	575570	766419	482273	502468	
449327	583388	534989		626040	367911	673825	521314	508353	635499	
493407	480281	303907	402351	366522	675857	1131990	427505	532000	885034	
518666	674179	719615	680470	699431	547679	778853	492048	447602	801023	
311874	554524	449912	399541	454873	568725	625802	443054	245408	638368	
457009	431064	553427	505348	501148	485115	578488	416755	420112	776883	
492193	269005	431669	360577	398143	524285	700942	363738		633860	
420112	557565	634134	435154	611522	447170	782844	310658	423946	612907	
372321	421862	726285	548738	558521	457499	672623	397087	613774	625362	
423946	617363	352092	421967	429070	549314	618879	406686	683575	626840	
447116.3	487127.7	507665.9	471497.5	514439.7	521243	713981.6	454526.4	484115.8	673824.4	
0.447	0.4871	0.5076	0.4714	0.5144	0.5212	0.713	0.4545	0.4841	0.6738	

- الحالة الثانية شبكة تحتوي 40 عقدة موزعة بشكل منتظم:

الجدول (7) متوسط زمن تأخير الحزم لجميع الخوارزميات حالة شبكة تحوي 40 عقدة.

NETWORK LATENCY(us)										
Trickle	Trickle-F	I-trickle	Opt-trickle	E-trickle	Adaptive-k	Trickle-pluse	RD-trickle	Elastic	FL-TRICKLE	
1454203	1080722	1161431	1135481	1460019	1034950	1186877	1179028	1454203	1063051	
1582143	1198935	1141214	1083753	1031991	988334	1197598	1289462	1582143	1168330	
1215329	1041179	1271024	1904790		927241	1460989	1701357	1215329	1686731	
1364689	1127835	1479384	1153663	1189765	1034345	1657518	1473176	1364689	2093450	
1215359	1271652	1248620	1249815	1040516	936491	1448297	1270388	1215359	1366655	
1198538		1152059	1551966	1211083	2729894	2320783	1280337	1198538	1923897	
1609353	1726095	959821	2187717	1080560	1159362	1728870	1598984	1609353	1515123	
1366328	1209077	1633186	1664013	1926215	1250753	2358041	1582369	1366328	1855712	
953284	968184	1492163	1482670	1619380	1083372	1620371	1143305	953284	1574257	
881288	1431062	1139269	1169152	1206952	1313993	1809058	1354689	881288	1712824	
1283251.4	1105474.1	1267817.1	1105474.1	1176648.1	1245873.5	1678840.2	1387309.5	1283251.4	1595003	
1.283	1.105	1.267	1.105	1.176	1.245	1.678	1.387	1.283	1.595	

❖ :Packet delivery Ratio(%)

- الحالة الأولى شبكة تحتوي 20 عقدة موزعة بشكل منتظم:

الجدول (8) متوسط معدل تسليم الحزم لجميع الخوارزميات حالة شبكة تحوي 20 عقدة.

Packet delivery ratio (PDR)										
Trickle	Trickle-F	I-trickle	Opt-trickle	E-trickle	Adaptive-k	Trickle-pluse	RD-trickle	Elastic	FL-TRICKLE	
0.964	0.982	1	1	0.973	0.964	0.956	0.955	0.973	0.973	
0.991	1	0.973	0.991	0.973	0.991	0.991	0.964	0.991	0.973	
0.991	0.991	0.991	0.991	0.973	0.982	0.938	0.991	0.973	0.929	
1	0.964	0.956	0.964	0.991	0.991	0.964	0.991	0.991	0.956	
0.982	0.982	0.982	1	0.973	0.982	0.982	0.991	0.991	0.982	
0.982	0.982	0.982	0.982	0.982	0.973	0.964	1	0.991	0.947	
0.982	0.991	1	0.964	0.982	0.956	0.964	1	0.991	0.956	
0.991	0.973	0.964	1	1	0.973	1	1	0.964	0.991	
0.947	1	0.982	0.991	0.956	0.982	0.991	0.991	0.956	0.991	
0.964	0.991	0.991	1	0.973	0.982	0.973	1	0.991	0.991	
0.979	0.985	0.982	0.988	0.977	0.980	0.969	0.988	0.980	0.969	
97.9	98.5	98.2	98.8	97.7	98.0	96.9	98.8	98.0	96.9	

- الحالة الثانية شبكة تحتوي 40 عقدة موزعة بشكل منتظم:

الجدول (9) متوسط معدل تسليم الحزم لجميع الخوارزميات حالة شبكة تحوي 40 عقدة.

Packet delivery ratio (PDR)										
Trickle	Trickle-F	I-trickle	Opt-trickle	E-trickle	Adaptive-k	Trickle-pluse	RD-trickle	Elastic	FL-TRICKLE	
0.858	0.952	0.965	0.935	0.918	0.948	0.935	0.897	0.858	0.948	
0.883	0.926	0.913	0.931	0.948	0.970	0.940	0.918	0.883	0.939	
0.944	0.957	0.944	0.790	0.927	0.927	0.863	0.892	0.944	0.863	
0.867	0.923	0.833	0.961	0.944	0.939	0.883	0.871	0.867	0.785	
0.940	0.948	0.944	0.944	0.952	0.957	0.888	0.905	0.940	0.914	
0.918	0.931	0.931	0.927	0.931	0.755	0.819	0.943	0.918	0.875	
0.832	0.840	0.974	0.837	0.952	0.931	0.880	0.901	0.832	0.884	
0.880	0.901	0.849	0.846	0.841	0.948	0.816	0.841	0.880	0.824	
0.952	0.884	0.935	0.853	0.892	0.935	0.940	0.939	0.952	0.896	
0.961	0.935	0.965	0.935	0.922	0.893	0.841	0.913	0.961	0.858	
0.903	0.918	0.925	0.895	0.922	0.920	0.88	0.902	0.903	0.878	
90.3	91.8	92.5	89.5	92.2	92.0	88.0	90.2	90.3	87.8	

❖ **Energy Consumption**: لحساب استهلاك الطاقة نستخدم أداة Powertrace المتوفرة في Contiki التي تقوم بتحديد ملامح الطاقة على مستوى الشبكة للشبكات اللاسلكية منخفضة الطاقة، حيث تقدر استهلاك الطاقة من قبل وحدة المعالجة المركزية، ونقل الحزم والاستماع . يتم ارسال هذه المعلومات إلى الأداة collect view التي تعرضه على الشكل التالي:

تقييم ومقارنة أداء التحسينات على خوارزمية التقطير في انترنت الأشياء

Node Control		Sensor Map		Network Graph		Sensors		Network		Power		Node Info		Serial Console	
Node	Rece...	Dups	Lost	Hops	Rtmetric	ETX	Churn	Beacon Interval	Reboots	PU Power	LPM Power	Listen Power	Transmit Power	Power	
1.0	6	0	0	0.000	0.000	0.000	0	5 min, 05 sec	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2.0	6	0	0	1.000	512.000	18.000	0	6 min, 11 sec	0	0.087	0.161	0.375	0.165	0.788	
3.0	6	0	0	1.000	512.000	18.000	0	5 min, 27 sec	0	0.093	0.161	0.556	0.118	0.929	
4.0	6	0	0	1.000	512.000	16.000	0	5 min, 27 sec	0	0.166	0.158	0.758	0.251	1.334	
5.0	6	0	0	3.000	1024.000	48.000	0	5 min, 16 sec	0	0.144	0.159	0.569	0.543	1.415	
6.0	6	0	0	2.000	768.000	32.000	0	5 min, 27 sec	0	0.098	0.161	0.583	0.307	1.148	
7.0	6	0	0	2.000	768.000	32.000	0	5 min, 27 sec	0	0.227	0.157	0.847	1.018	2.248	
8.0	6	0	0	2.000	768.000	32.000	0	5 min, 05 sec	0	0.456	0.150	1.478	2.419	4.502	
9.0	6	0	0	4.000	1280.000	64.000	0	5 min, 27 sec	0	0.124	0.160	0.550	0.411	1.245	
10.0	6	0	0	3.000	1024.000	48.000	0	6 min, 11 sec	0	0.292	0.155	1.164	1.351	2.962	
11.0	6	0	0	3.000	1024.000	48.000	0	5 min, 05 sec	0	0.172	0.158	0.701	0.727	1.758	
12.0	6	0	0	3.000	1024.000	48.000	0	4 min, 54 sec	0	0.124	0.160	0.709	0.413	1.406	
13.0	6	0	0	4.000	1280.000	64.000	0	5 min, 16 sec	0	0.123	0.160	0.522	0.388	1.193	
14.0	6	0	0	4.000	1280.000	64.000	0	5 min, 27 sec	0	0.226	0.157	0.833	0.959	2.175	
15.0	6	0	0	5.000	1536.000	80.000	0	6 min, 00 sec	0	0.099	0.161	0.501	0.258	1.018	
16.0	6	0	0	4.000	1280.000	64.000	0	6 min, 11 sec	0	0.122	0.160	0.525	0.385	1.191	
17.0	6	0	0	5.000	1536.000	80.000	0	5 min, 05 sec	0	0.130	0.160	0.583	0.443	1.315	
18.0	6	0	0	4.000	1280.000	64.000	0	6 min, 00 sec	0	0.098	0.161	0.459	0.254	0.972	
19.0	6	0	0	6.000	1792.000	96.000	0	6 min, 00 sec	0	0.109	0.160	0.489	0.383	1.140	
20.0	6	0	0	5.000	1536.000	80.000	0	5 min, 05 sec	0	0.086	0.161	0.426	0.243	0.916	
Avg	6.000	0.000	0.000	3.263	1091.368	52.211	0.000	5 min, 30 sec	0.000	0.157	0.159	0.665	0.581	1.561	

الشكل (8) استهلاك الطاقة بالميلي واط لجميع العقد في الشبكة التي تحتوي 20 عقدة حالة خوارزمية Trickle الأصلية.

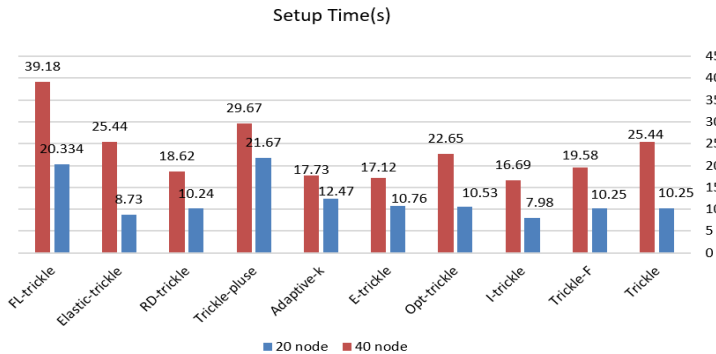
كما في الشكل السابق فإنه ومن أجل كل خوارزمية ومن أجل شبكة بعدد عقد 20 وشبكة بعدد عقد 40 يوجد قيمة للطاقة Power سنزيتها في الجدول التالي :

الجدول (10) متوسط استهلاك الطاقة لجميع الخوارزميات حالة شبكة تحوي 20 عقدة و 40 عقدة.

	Trickle	Trickle-F	l-trickle	Opt-trickle	E-trickle	Adaptive-k	Trickle-pluse	RD-trickle	Elastic-trickle	FL-trickle
20 node	1.6	1.6	2.3	1.7	1.8	1.4	1.8	1.5	1.6	1.7
40 node	2.3	2.3	2.2	2.3	2.2	2.1	1.9	2.6	2.3	2.5

1-10. مناقشة النتائج:

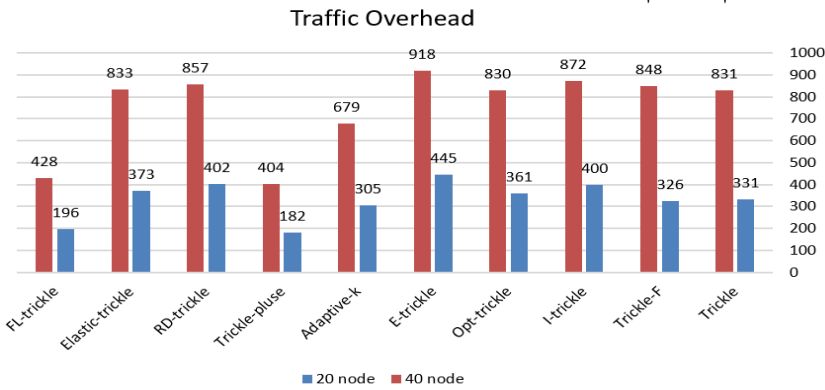
• زمن التقارب:



الشكل (9) مخطط لمقارنة زمن تقارب جميع الخوارزميات.

نلاحظ أنه كلما زاد حجم الشبكة زاد معه زمن التقارب بسبب زيادة عدد العقد التي يجب أن تتضمن إلى المخطط الشجري الخاص بالشبكة. تُبين النتائج أنه كل من Trickle-F و Opt-trickle و E-trickle و RD-trickle لم يظهروا تحسن في زمن التقارب عند عدد العقد المنخفض 20 بينما يبدو تأثيرهم على زمن التقارب عند زيادة حجم الشبكة بمعنى آخر أنه كلما ازداد عدد العقد تخفض هذه الخوارزميات من زمن التقارب. نلاحظ أن خوارزمية Adaptive-k زادت من زمن التقارب عند عدد عقد صغير وقللته عند عدد عقد كبير لذلك سنعتبرها حيادية وليست ذات تأثير على زمن التقارب. بينما نلاحظ أنه كل من Trickle-plus و FL-trickle لا تقدمان أي تحسين على زمن التقارب بل بالعكس يزداد زمن التقارب عند تطبيقهما ضمن بروتوكول RPL، أما Elastic-trickle فتقدم نفس زمن تقارب خوارزمية Trickle الأصلية. الخوارزمية التي تقدم أفضل زمن تقارب هي I-trickle حيث قللت من هذا الزمن عند حجم الشبكة الصغير 20 عقدة والكبير 40 عقدة، وذلك لأنها تأخذ بعين الاعتبار الرسائل التي يتم سماعها من الزمن t وحتى نهاية الفاصل الزمني.

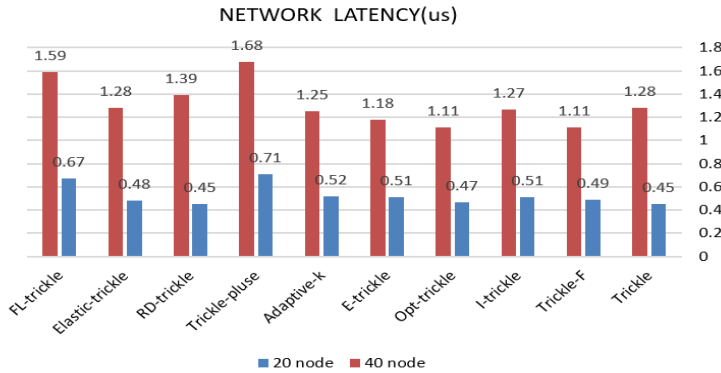
• عدد حزم التحكم:



الشكل (10) مخطط لمقارنة متوسط عدد حزم التحكم لجميع الخوارزميات.

كل من خوارزمية I-trickle و Opt-trickle و E-trickle و RD-trickle و Elastic-trickle تزيد من عدد حزم التحكم المرسل في الشبكة مهما كان حجم الشبكة. تحافظ خوارزمية Trickle-F على عدد الحزم المرسل في الشبكة كما في حالة Trickle الأصلية. كل من Adaptive-k و Trickle-plus و FL-trickle تقلل من عدد حزم التحكم المرسل في الشبكة، وبالتالي تحسن من قيمة هذا المعيار وتعد أفضلها Trickle-plus ، وذلك لأنها تقوم بالاستغناء عن الطول الزمني بين وقت بدء الإزاحة ووقت انتهاءها مما يخفف عدد رسائل التحكم الذي يتناقص كلما زاد طول فاصل الإزاحة الزمني.

• زمن تأخير الشبكة:

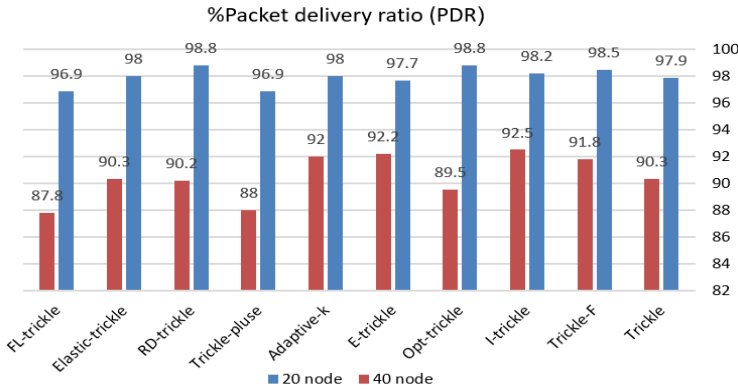


الشكل (11) مخطط لمقارنة متوسط زمن تأخير الحزم لجميع الخوارزميات.

كلما زاد حجم الشبكة زاد متوسط زمن التأخير وذلك بسبب زيادة عدد القفزات التي تسلكها الحزمة حتى تصل إلى المصرف، كما نلاحظ أن تأثير كل خوارزمية على زمن التأخير يبدو بشكل أوضح عند حجم الشبكة الكبير. كل من خوارزمية Trickle-F و Opt-trickle تقلل من زمن تأخير الشبكة، وذلك بسبب جعلها فترة الاستماع فقط أقصر من باقي الخوارزميات وخاصة عند اكتشاف عدم اتساق في الشبكة كما في حالة Opt-trickle. بينما كل من خوارزمية I-trickle و Adaptive-k و RD-

trickle و Trickle-plus و FL-trickle تزيد من زمن تأخير الشبكة. أما Elastic-trickle فتزيد من زمن التأخير. بينما E-trickle فإنها كما نلاحظ تزيد من هذا الزمن عند حجم شبكة صغير و تنقصه عندما يزداد حجم الشبكة لذلك سنعتبرها حيادية بالنسبة لهذا الزمن.

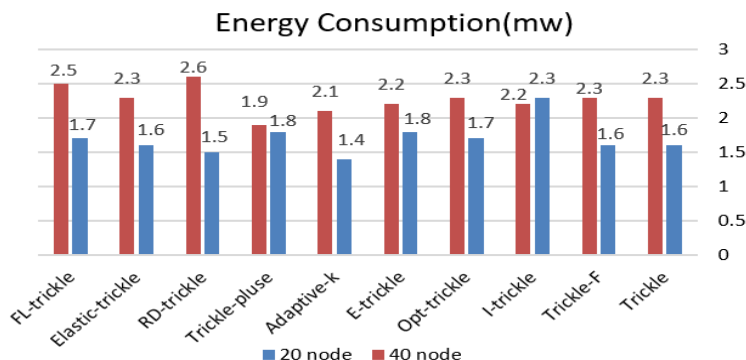
● معدل تسليم الحزم:



الشكل (12) مخطط لمقارنة متوسط معدل تسليم الحزم لجميع الخوارزميات.

نلاحظ من المخطط أنه كلما زاد حجم الشبكة كلما نقص معدل تسليم الحزم ونلاحظ أنّ كل من خوارزمية Trickle-F و E-trickle و Adaptive-k و RD-trickle و Elastic trickle تحسن معدل تسليم الحزم، ونجد أنّ كل من Trickle-plus و FL-trickle تقلل معدل تسليم الحزم بشكل واضح. نلاحظ أنّ I-Trickle تعتبر أكثر خوارزمية تحسن معدل تسليم الحزم.

● استهلاك الطاقة:



الشكل (13) مخطط لمقارنة متوسط استهلاك الطاقة لجميع الخوارزميات.

نلاحظ أنه كلما ازداد حجم الشبكة كلما ازداد استهلاك الطاقة. تخفض Adaptive-k استهلاك الطاقة وذلك بسبب تخفيف مقدار الطاقة الذي تصرفه العقدة على عمليات الإرسال الغير مهمة التي تحصل بسبب قيمة k الغير مناسبة لبنية الشبكة. تزيد Opt-trickle و E-trickle و FL-trickle و Trickle-الاستهلاك الطاقة. ل Elastic-trickle و Trickle-F نفس مستوى استهلاك الطاقة ل Trickle الأصلية.

10-2. ملخص النتائج:

بناءً على ما سبق يمكننا رسم الجدول التالي الذي يحوي ملخص النتائج حيث ترمز الإشارة (+) إلى أن الخوارزمية المقابلة قدمت أداء أفضل من الخوارزمية الأصلية بالنسبة للمعيار المقابل وترمز الإشارة(-) إلى أن الخوارزمية المقابلة قد قدمت أداء أسوأ من الخوارزمية الأصلية بالنسبة للمعيار المقابل بينما ترمز الإشارة (*) إلى أن الخوارزمية المقابلة قدمت أفضل أداء من بين جميع الخوارزميات الباقية والمربع الفارغ يعني أن هذه الخوارزمية لا تؤثر على المعيار المقابل:

الجدول (11) تلخيص النتائج.

Energy Cosum	PDR	Latency	Traffic Overhead	Setup Time	Metric Algorithm
	+	+		+	Trickle-F
-	*	-	-	*	I-trickle
-		*	-	+	Opt-trickle
-	+		-	+	E-trickle
*	+	-	+		Adaptive-k
	-	-	*	-	Trickle-plus
	+	-	-	+	RD-trickle
	+		-		Elastic-trickle
-	-	-	+	-	FL-trickle

نلاحظ من الجدول السابق أن الخوارزمية التي تقدم أفضل (أقل) زمن تقارب هي خوارزمية I-trickle ولكن ذلك كان على حساب عدد حزم التحكم المرسل في الشبكة وكمية استهلاك الطاقة اللذين ازدادا عما كانا عليه في Trickle الأصلية. تسلك كل من E-trickle و Opt-trickle نفس سلوك I-trickle حيث تقللان زمن التقارب وبالمقابل تزيدان عدد حزم التحكم واستهلاك الطاقة في الشبكة.

تقدم Trickle-plus أقل عدد حزم تحكم مرسل في الشبكة لكنها بالمقابل تزيد من زمن التقارب وتأخير الحزم وكذلك FL-trickle التي تقلل من عدد حزم التحكم على حساب زيادة زمن التقارب والتأخير وكمية استهلاك الطاقة. تقدم Opt-trickle أقل تأخير للحزم ضمن الشبكة وتقدم I-trickle أفضل زمن تسليم حزم، بينما تقدم Adaptive-k أقل كمية استهلاك طاقة في الشبكة.

3-10. التوصيات:

يمكن استخدام خوارزمية Adaptive-k عندما يكون تخفيض استهلاك الطاقة هو العامل الهام في شبكتنا وذلك لقدرتها على تقليل عدد حزم التحكم ورفع معدل تسليم الحزم. يوصي هذا البحث بإيجاد خوارزمية Trickle تقدم أفضل أداء من ناحية جميع مقاييس الأداء المدروسة في البحث.

11. المراجع:

- [1] Djamaa, B., & Richardson, M. (2015). Optimizing the Trickle Algorithm, 13(9), 10–13.
- [2] Zhao, M., Kumar, A., Han, P., Chong, J., & Lu, R. (2016). A comprehensive study of RPL and P2P–RPL routing protocols : Implementation , challenges and opportunities. *Peer-to-Peer Networking and Applications*, (October 2017).
- [3] Bagula, A., & Pietrosevoli, E. (n.d.). Internet of Things IN 5 DAYS.
- [4] Conference, I., & Hutchison, D. (2013). Internet of Things , Smart Spaces , and Next Generation.
- [5] Qasem, M., Al–dubai, A., Ghaleb, B., Al–dubai, A., Ekonomou, E., Gharibi, W., ... Khalaf, M. B. (2018). A New Load–Balancing Aware Objective Function for RPL ’ s IoT Networks.
- [6] Winter, T., Thubert, P., Corporation, A. R., & Kelsey, R. (n.d.). RFC6550 RPL: IPv6 Routing Protocol for Low–Power and Lossy Networks, 1–157.
- [7] Technology, I. (2017). RPL LOAD BALANCING IN INTERNET OF THINGS, 18(2), 137–150.
- [8] Idrees, A. K., & Witwit, A. J. H. (2018). A Comprehensive Review for {RPL} Routing Protocol in Low Power and Lossy Networks, (September).
- [9] Yassein, M. B., Hmeidi, I., Shehadeh, H., & Yaseen, W. B. (2015). Performance Evaluation of “ Dynamic Double Trickle Timer Algorithm ” in RPL for Internet of Things (IoT).

- [10] P. Levis, N. Patel, D. Culler, and S. Shenker, Trickle: A Self-Regulating Algorithm for Code Propagation and Maintenance in Wireless Sensor Networks, in In Proceedings of the First USENIX/ACM Symposium on Networked Systems Design and Implementation (NSDI, 2004, pp. 15–28.
- [11] Vallati, C., & Mingozi, E. (2013). Trickle-F : fair broadcast suppression to improve energy-efficient route formation with the RPL routing protocol.
- [12] Yassein, M. B., Mohammad, R., Masadeh, T., World, T., & Science, I. (2017). A New Dynamic Trickle Algorithm for Low Power and Lossy Networks, (September 2016).
- [13] Ph . D . Dissertation Contributions to the Performance Evaluation and Improvement of the RPL protoocol . (n.d.).
- [14] Ghaleb, B., Al-dubai, A., & Ekonomou, E. (2015). E-Trickle: Enhanced Trickle Algorithm for Low-Power and Lossy Networks, (September).
- [15] Meyfroyt, T. M. M., Stolikj, M., & Lukkien, J. J. (2015). Adaptive Broadcast Suppression for Trickle-Based Protocols, 0–8.
- [16] F. Osterlind, A. Dunkels, J. Eriksson, N. Finne, and T. Voigt, “Cross-level sensor network simulation with cooja,” in Local computer networks, proceedings 2006 31st IEEE conference on, 2006, pp. 641–648.
- [17] Ghaleb, B., Al-dubai, A., Ekonomou, E., Paechter, B., & Qasem, M. (2016). Trickle-Plus : Elastic Trickle Algorithm for Low- Power Networks and Internet of Things, (MEIoT).

- [18] Yassein, M. B., Mohammad, R., Masadeh, T., World, T., & Science, I. (2017). A New Dynamic Trickle Algorithm for Low Power and Lossy Networks.
- [19] Yassein, M. B., Alnadi, A., & Bataineh, A. (2018). RANDOMIZED DYNAMIC TRICKLE TIMER ALGORITHM FOR INTERNET OF THINGS, 187–197.
- [20] Zhang, K., Kim, J., & Cho, G. (2018). An Efficient and Energy-saving Data Dissemination Mechanism for Low-power and Lossy Networks, 7(4).
- [21] Lamaazi, H., Benamar, N., Kahili, N. E. L., & Taleb, T. (2019). FL-Trickle : New Enhancement of Trickle Algorithm for Low Power and Lossy Networks.
- [22] Yassein, M. B., & Aljawarneh, S. (2017). A new elastic trickle timer algorithm for Internet of Things. Journal of Network and Computer Applications, 89(January), 38–47.
- [23] Benson, D. J. (2016). A Performance Study of RPL with Trickle Algorithm Variants.
- [24] Goyal, S. (2017). A Comparative Analysis of the Trickle Algorithms in Routing Protocol for Low Power and Lossy Networks, 6(4), 18–23.

