دراسة تأثير طوبولوجيا النشر لشبكات الحساسات اللاسلكية على استهلاك الاستطاعة للعقد وفق برتوكول RPL

الدكتور المهندس مجد الدين العلي*

المهندس محسن خضر**

الملخص

يوما بعد يوم يتزايد الاهتمام بشبكات الحساسات اللاسلكية بسبب اهميتها وتنوع تطبيقاتها في مجال المراقبة والتحكم والصحة وغيرها ، ومع انتشارها الواسع تزايد عددها وتزايدت انواع عقدها وتطبيقاتها مما يتطلب وجود تقنية لربط هذا العدد الكبير من الشبكات والتحكم بها وربطها بالإنترنت وبالتالي ظهرت تقنية انترنت الاشياء التي تحقق ما سبق و تتيح العديد من المميزات الاضافية ، ولكن تعد مشكلة استهلاك الاستطاعة هي اكبر مشكلة تواجه شبكات الحساسات اللاسلكية مما يفرض العديد من القيود عند استخدامها وبالتالي يجب ايجاد حلول لمواجهة هذه المشكلة وتجنب خروج العقد من الخدمة .

يتضمن التصميم دراسة شبكة حساسات لاسلكية تعتمد تقنية انترنت الاشياء لمراقبة منطقة حدودية ، حيث تم دراسة تأثير طوبولوجيا النشر على معدل استهلاك الاستطاعة للعقد ، تم دراسة شبكة مكونة من 20 عقدة ومصب Sink باستخدام عدة انواع من طوبولوجيا النشر: (Random، Mesh ,Bus , Tree , Ring) وحساب الاستطاعة المستهلكة ضمن الشبكة والمقارنة بينها .

وبتحليل نتائج المحاكاة تبين ان الطوبولوجيا الحلقية Ring هي الاقل استهلاكاً للاستطاعة تليها العشوائية Random ثم الشبكية Mesh ثم الشجرية Tree ثم المستقيمة Bus عند استخدام دالة الهدف OF_0 .

مما يعطي طوبولوجيا Ring افضـلية عند اسـتخدامها في مراقبة الحدود او في تطبيقات مشابهة.

كلمات مفتاحية: انترنت الأشياء، بروتوكول التوجيه، حساسات لاسلكية ، طوبولوجيا Bus، طوبولوجيا Mesh ، طوبولوجيا Ring , طوبولوجيا Tree.

Studying effect of topology of wireless sensor network on power consumption of nodes that uses RPL routing protocol

*** Professor. Majdeddin Ali**

**** Eng. Mohsen Khder**

Abstract

Day after day, interest in wireless sensor networks is increasing due its importance and diversity of its applications in the monitoring, control, health, etc , and due its wide spread , its number has increased and the types of its nodes and applications have increased, which requires a technology to connect this large number of networks ,

control them and connect them to the Internet, and thus the Internet of Things technology appeared that achieves the above and provides many additional features, but problem of energy consumption is the biggest problem faces Wireless sensor networks, which imposes many restrictions when using it, and therefore solutions must be found to overcome this problem and avoid nodes being out of service .

The design includes a study of a wireless sensor network that adopts the Internet of Things technology to monitor a border area, As we studied effect of the deployment topology on the rate of power consumption of the nodes , we studied network from 20 nodes and one sink using (Random, Ring , Tree ,Bus , Mesh) topology , the consumed power was calculated , then compare between 5 scenarios.

By analyzing the simulation results, it was found that the power consumption for the Ring topology is the smallest then Random topology then Mesh then Tree and Bus in the end when using objective function OF_0 .

which gives Ring topology an advantage when used in boundary monitoring or in similar applications .

Keywords: IoT, Routing Protocol, WSN , Bus topology , Mesh topology, Ring topology, Tree topology, Random topology .

*Professor at Faculty of Mechanical and Electrical Engineering_ Homs University
** Master Degree, Department of Electronic and Communication Engineering, Electronic Engineering_ Homs University
Bachelor degree _Faculty of Information and communication Technology .Engineering, Tartous University

1 – مقدمة :

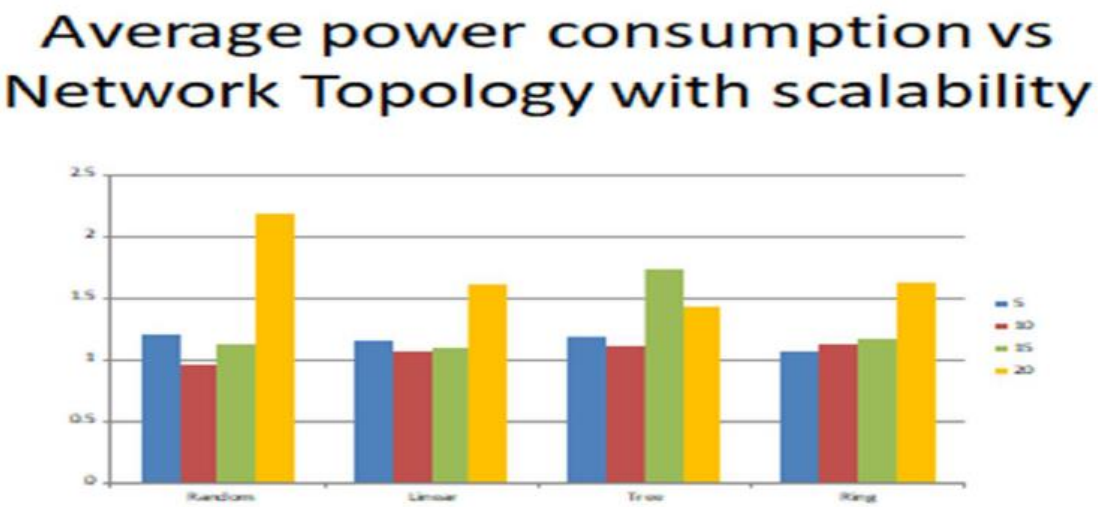
إن التطور الكبير في الشبكات اللاسلكية وصناعة الدارات المتكاملة و الأنظمة المدمجة، أدّى لظهور جيل جديد من شبكات الحساسات اللاسلكية والمعالجات الصغرية ، والتي تناسب مجموعة من التطبيقات التجارية والصناعية والعسكرية، ومن المتوقع أن تسبب هذه التقانة ثورة في طريقة عيشنا وعملنا وتفاعلنا مع البيئة المحيطة بنا، وذلك من خلال نشر حساسات صغيرة الحجم ورخيصة الثمن تستطيع استشعار مختلف الظواهر الفيزيائية قيد الدارسة (مثل مراقبة حركة المركبات والكائنات الحية ضمن بيئتها، الكشف المبكر عن الحرائق في الغابات، مراقبة خطوط الانتاج في المصانع....) وبالتالي باستطاعة هذه الشبكات تزويد مشغليها بمعلومات دقيقة وحديثة قادمة مباشرة من بيئة الظاهرة قيد الدراسة.

ومع التزايد المستمر لشبكات الحساسات اصبح من الضرورة ايجاد طريقة لربط هذه الشبكات والتحكم بها وتنظيمها وهذه التقنية هي انترنت الاشياء.

وتعرف تقنية انترنت الاشياء بأنها نظام يتكون من بنية حاسوبية او الكترونية او ميكانيكية يحقق اتصال مختلف الأجهزة المادية بشبكة الإنترنت إضافة إلى قدرة كل جهاز على التعريف بنفسه للأجهزة الأخرى وأداء وظائف محددة عبر بروتوكولات الانترنت. وهي أيضاً التجسيد للخدمات الذكية التي نتجت عن تحول الأشياء إلى أشياء ذكية ومتصلة وقادرة على التفاعل مع محيطها.

في هذا البحث سوف نقوم بدراسة وتحليل معدل استهلاك الاستطاعة لبروتوكول التوجيه RPL وفق طوبولوجيات النشر المناسبة للمناطق الحدودية (Random , Ring , Mesh , Bus ,Tree) ، اذ تطرقت دراسات سابقة لتحليل طوبولوجيات النشر لهذا

البروتوكول وفق معدل استهلاك الاستطاعة ابرزها الدراسة [11] (Suneeta Mishra, Vidushi Sharma and Neeti Gupta, 2023) التي قامت بتحليل استهلاك الاستطاعة وفق الطوبولوجيات (Random, Linear, Tree, Ring) وتبين ان الطوبولوجيا الشجرية هي الافضل من حيث معدل استهلاك الاستطاعة تليها الخطية من اجل 20 عقدة وذلك وفق دالة الهدف MRHOF.



الشكل (1) مقارنة استهلاك الاستطاعة من اجل طوبولوجيا (Random, Linear, Tree, Ring)[11]

2 – هدف البحث:

- التعريف بأنواع طوبولوجيا النشر لشبكات الحساسات اللاسلكية
- التعريف ببروتوكول التوجيه في شبكات انترنت الاشياء

- تحليل اداء بروتوكول التوجيه من حيث استهلاك الاستطاعة لعقد الشبكة وفقا لطوبولوجيا النشر

3- مواد وطرق البحث :

3-1 نظام التشغيل Contiki:

تم تطوير نظام (Contiki OS) ، الذي يعتمد على لغة البرمجة C والمصدر المفتوح ، لشبكات الاستشعار اللاسلكية خفيفة الوزن ومرنة ومنخفضة الاستطاعة.

تكوين Contiki القياسي لجهاز التحكم الدقيق هو ذاكرة الوصول العشوائي RAM ب 2 كيلو بايت و 40 كيلو بايت لذاكرة القراءة فقط ROM. بالإضافة إلى ذلك ، يمكن لـ Contiki توفير اتصال عبر IPv4 و IPv6 و Rime Network Stack.[9]

3-2 محاكي الشبكات Cooja:

COOJA عبارة عن محاكي مرن قائم على Java مصمم لمحاكاة شبكات الحساسات التي تعمل بنظام التشغيل Contiki. يحاكي COOJA شبكات الحساسات حيث يمكن أن تكون كل عقدة من نوع مختلف ؛ تختلف ليس فقط في البرامج المنصبة ، ولكن أيضا في العتاد المادي المراد محاكاته.[8]

COOJA قادر أيضًا على محاكاة العقد غير التابعة لـــ Contiki ، مثل العقد المنفذة في Java أو حتى العقد التي تشغل في نظام تشغيل آخر.[10]

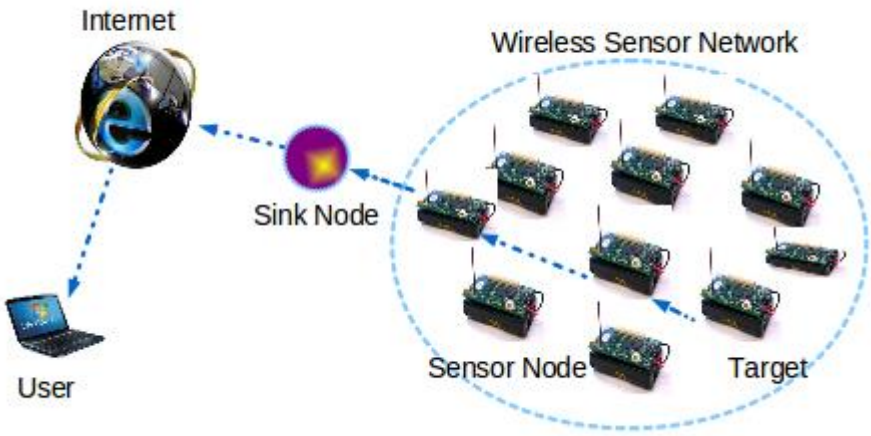
4- شبكات المراقبة اللاسلكية :

4-1- الحساسات اللاسلكية WSN:

تعد شبكات الحساسات اللاسلكية عبارة عن شبكات مؤلفة من مجموعة من الأجهزة الإلكترونية المستشعرة، التي تتصل بشبكة لاسلكية محلية وتمكن الأجهزة من التواصل وتحميل البيانات بالطريقة اللاسلكية .هذه الأجهزة تستخدم لجمع البيانات الثابتة أو المتحركة وتحليلها لتحسين الأداء واتخاذ القرارات.

حيث تم استخدام شبكات الحساسات اللاسلكية في العديد من التطبيقات مثل وضع طرق سيارات ذاتية القيادة، مراقبة الجو، تقييم أداء الروبوتات، وغيرها[1] .

ويوضح الشكل (2) نموذج لشبكة حساسات مكونة من مجموعة عقد تحسس و مصب Sink مع ربطها بشبكة الانترنت.



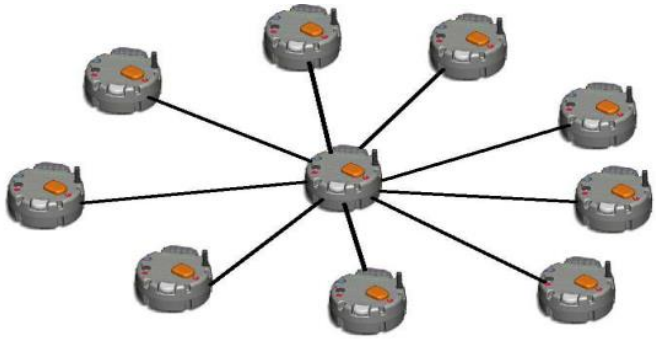
الشكل (2) نموذج لشبكة حساسات لاسلكية

4-2- طوبولوجيا النشر في شبكات الحساسات اللاسلكية:

4-2-1 الطوبولوجيا النجمية Star Topology [3]:

حيث يتم نشر العقد بشكل نجمي وتتميز هذه الطريقة بأنها اقل استهلاكا للطاقة كما انها قابلة للتوسع scalable

ومن مساوئها عدم وجود اتصال موثوق reliable communication و وجود مسار واحد وبالتالي عدم وجود مسار بديل ويوضح الشكل (3) مثال بسيط عن تركيب الشبكة النجمية.



الشكل (3) الطوبولوجيا النجمية Star Topology

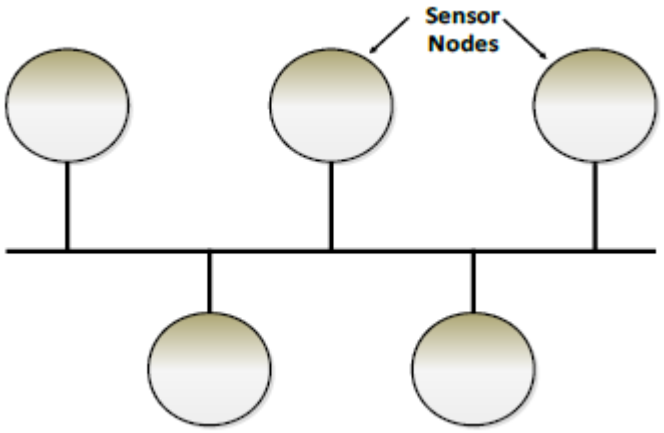
4-2-2 طوبولوجيا Bus Topology [4]:

تستخدم في الشبكات الصغيرة وتتميز:

- ذات كلفة منخفضة
- سهلة الفهم والتركيب
- يمكن توسيع الشبكة واضافة المزيد من العقد ببساطة

اما سلبياتها فهي:

- في حال حدوث فشل في أي وصلة سوف تتوقف الشبكة
- اداء الشبكة ينخفض عند وجود كمية معدل نقل عالي heavy traffic
- تبادل المعلومات ضمن الشبكة ابطء مقارنة بالطوبولوجيات الاخرى



الشكل (4) طوبولوجياBus Topology

4-2-3 طوبولوجيا الشبكة Mesh Topology [3]:

تعتمد تقنية النقل متعدد القفزات multi-hoping system كما انها تتميز بـ:

- ذات وثوقية عالية بسبب تعدد المسارات
- بأنها قابلة للتوسع scalable
- احتمالية فقدان بيانات اقل بسبب وجود مسار بديل

اما سلبياتها فهي :

- الكلفة العالية لبعض التصميمات .
- وجود بعض المسارات غير مستخدمة (لا حاجة لها) .
-

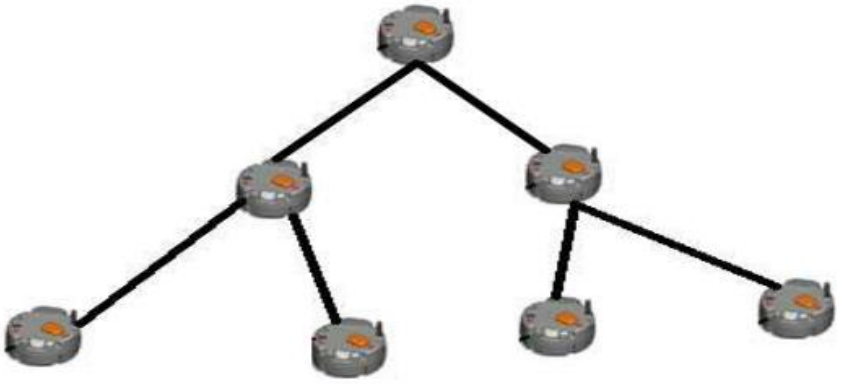
الشكل (5) طوبولوجيا الشبكة Mesh Topology

4-2-4 الطوبولوجيا الشجرية Tree Topology [3]:

تتكون هذه الشبكة من عقدة رئيسية ومجموعة عقد طرفية بحيث تقوم العقد الطرفية بتمرير بياناتها الى العقدة الرئيسية ومن ثم يتم تجميع كل البيانات المرسلة.
تتميز هذه الطوبولوجيا بانها اقل استهلاكاً للطاقة.

سلبياتها :

- تستهلك وقتاً اطول من غيرها
- اذا خرجت العقدة الرئيسية من الخدمة فستخرج الشجرة الفرعية المتصلة بها من الخدمة
- سوف تستهلك العقد القريبة من العقدة الرئيسية طاقة اكبر من العقد البعيدة من خلال توجيهها للرزم.



الشكل (6) الطوبولوجيا الشجرية Tree Topology

4-3 تقنية انترنت الاشياء وبرتوكول RPL:

- تقنية إنترنت الأشياء تعرَّف عمومًا على أنه "بنية تحتية ديناميكية للشبكة العالمية ذات قدرات تكوين ذاتي تستند إلى المعايير وبروتوكولات الاتصال القابلة للتشغيل ؛ المادية والافتراضية .

كما يمكن التعامل مع تقنية إنترنت الأشياء على أنها مجموعة شاملة من توصيل الأجهزة التي يمكن التعرف عليها بشكل فريد من خلال تقنيات الاتصال قريب المدى الموجودة (NFC) حسب (المعهد الأوروبي لمعايير الاتصالات 2013). [2]

- بروتوكول التوجيه RPL (Routing Protocol for Low power and Lossy networks):

يعرف بأنه بروتوكول توجيه مصدر وشعاع مسافة مصمم للعمل على طبقات وصلات متنوعة مثل IEEE 802.15.4 PHY و MAC (Medium Access Control)، إن هذا البروتوكول مصمم من أجل الشبكات المعتمدة على التجميع، حيث تقوم العقد بالإرسال الدوري للقياسات إلى عقدة المجمع أو المصب، وتصنف

شبكة هذا البروتوكول ضمن اتصالات عدة نقط إلى نقطة واحدة وأيضا تدعم اتصالات نقطة إلى عدة نقط وكذلك نقطة إلى نقطة . [5]

تمركز دور بروتوكول RPL في طبقة الشبكة لحزمة المعيار 6LoWPAN [6] حيث يستند في العمل فوق طبقة الملاءمة (Adaptation Layer) الوسيطة بين طبقة وصل المعطيات وطبقة الشبكة.

يعمل بروتوكول RPL وفق مفهوم الطوبولوجيا لـ (DAGs Direct Acyclic Graphs) حيث يمثل بنية شجرية تحدد المسارات الافتراضية بين العقد في شبكة LLN. بشكل مخصص أكثر فإن RPL ينظم العقد في مخطط (Destination–Oriented DAGs) حيث أن أكثر عقد الوجهة شعبية مثل المصب (Sink node) أو التي تؤمن مسار افتراضي إلى الانترنت (Gateway) تمثل جذر (Root) هذه الشجرة. [5]

يصنف البروتوكول RPL ثلاثة أنواع من العقد:

- الموجهات الطرفية ذات الفقد ومنخفضة الاستطاعة (LBRs):

تمثل جذر مخطط (DODAG) ونقطة تجميع الشبكة (Sink node) وتملك إمكانية بناء شجرة DAG، وكذلك يعمل كبوابة ليوصل شبكة LLN إلى الانترنت وشبكات IPv6.

- الموجهات Routers: الأجهزة التي تمتلك إمكانية توجيه وتوليد البيانات لا تستطيع بناء الشجرة لكن تشارك في تشكيلها.
- العقد النهائية Hosts: العقد الموجودة في اخر الشجرة وتدعي أوراق Leaf تقوم فقط بتوليد البيانات.[5]

أثناء عملية تشكيل طوبولوجيا الشبكة كل موجه يحدد مجموعة مستقرة من العقد الآباء في سبيل إنشاء مسار باتجاه الجذر ويختار الأب المفضل، حيث يتم اختياره بالاعتماد على دالة الهدف (Objective function).[7]

توابع الغرض التي يوظفها البروتوكول RPL:

OF_0: دالة الهدف الأساسي الذي لا يحتاج إلى أي مقاييس لكي يُحسب حيث يستخدم الاعدادات الافتراضية لكي يصل الى تخفيض قيمة عدد القفزات [Hop count](11) ويعتمد في تشكيل المسارات على قيمة الصف (الرتبة) للعقد .

MRHOF: يعمل دالة الهدف هذا على إيجاد المسارات ذات الكلفة الأقل بحيث يقلل الحمل في الشبكة، ويستخدم ETX كمقياس توجيه حيث ان ETX عدد الارسالات المتوقع.

يقوم بذلك عن طريق تقنيتين:

الأولى (Minimum Rank): إيجاد المسار ذو الكلفة الأقل، المسار ذو الصف الأدنى.

الثانية(Hystersis): يحول إلى المسار ذو الصف الأدنى فقط إذا كان أقصر من المسار الحالي بعتبة معينة، التراجع أو التباطؤ Hystersis.

لكي يعمل دالة الهدف يجب على العقد أن تدعم مقياس ETX وعلى الأقل المقاييس Hop count, Latency.

إن المسار من عقدة محددة الى جذر (DODAG) يحدد بأصغر مجموع لـ ETX من بين المسارات المتاحة.

4-6 تصميم الشبكة والمخطط التدفقي للمحاكاة:

سيتم بناء التصميم وتنفيذ المحاكاة باستخدام محاكي الشبكات Cooja المضمن في نظام التشغيل Contiki الخاص بتقنية انترنت الأشياء.

سنقوم بتصميم شبكة IOT لمراقبة منطقة حدودية وفق خمسة سيناريوات لكل سيناريو طوبولوجيا نشر مختلفة (**Random**, **Bus**, **Tree**, **Ring**, **Mesh**) ونقوم بتحليل اداءها ومقارنة استهلاك الاستطاعة لكل طوبولوجيا منها وفق دالة الهدف OF_0، يوضح الجدول التالي بارامترات اعداد المحاكاة:

الجدول (1) بارامترات المحاكاة

البارامتر	القيمة
بيئة المحاكاة	محاكي الشبكات Cooja في نظام التشغيل Contiki 3.0
الوسط الراديوي	Unit Disk Graph Medium (UDGM), with distance lose
نوع العقد	Sky mote
عدد العقد	20
طوبولوجيا النشر	**Random**, **Bus**, **Tree**, **Ring**, **Mesh**
دالة الهدف	**OF_0**
معدل النقل	250 kbps
التردد المستخدم	2.4 GHz
بروتوكول التوجيه	RPL
مدى الارسال	m90

مدى التداخل	100m
زمن المحاكاة	610s
المسافة بين العقد	90 m

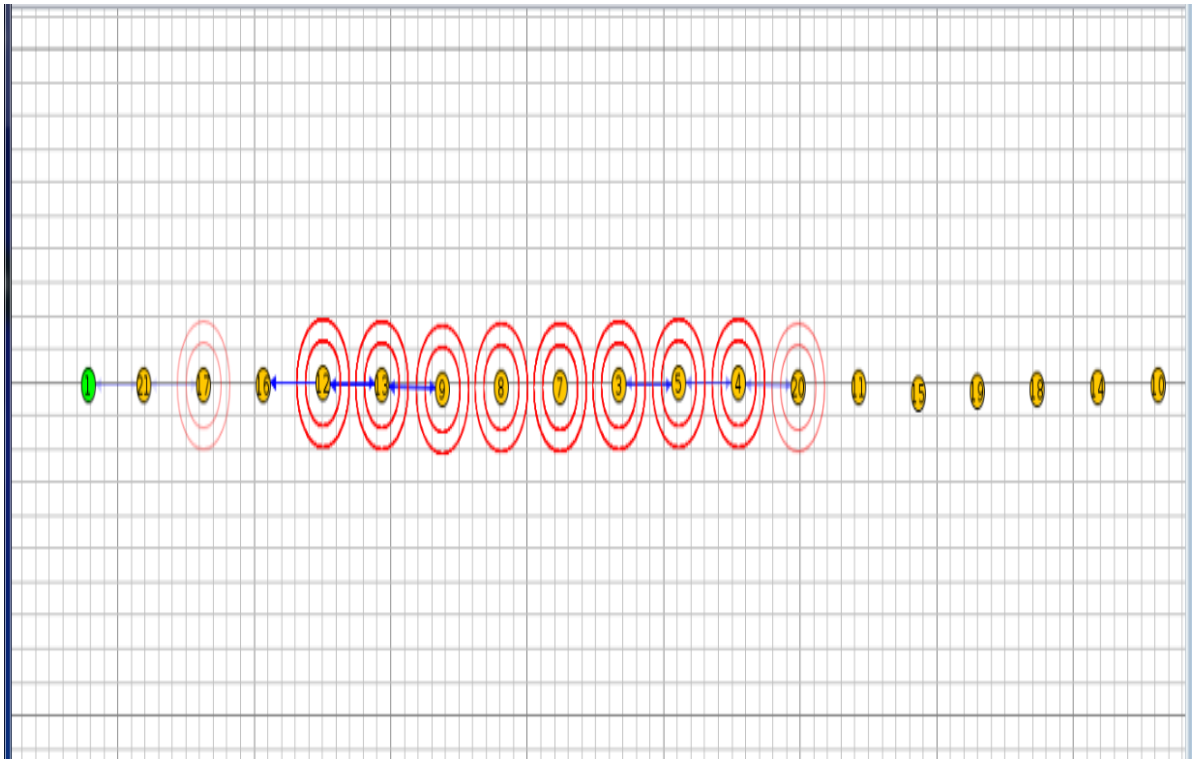
يبين الشكل (7) المخطط التدفقي لمراحل المحاكاة وفق تسلسل العمل:

الشكل (7) المخطط التدفقي للمحاكاة

- **السيناريو الاول:**

سنقوم بأنشاء شبكة حساسات لاسلكية لمراقبة الحدود تعتمد تقنية انترنت الاشياء وفق طوبولوجيا Bus مكونة من 20 عقدة ومصب Sink لتجميع البيانات التي تم تحصيلها ، علما ان زمن المحاكاة لكلا الشبكتين هو 610 ثانية وقد تم اعادة تشغيل المحاكاة 5 مرات للتأكد من تطابق قيم استهلاك الاستطاعة عند تطبيق نفس الطوبولوجيا.

كما في الشكل أدناه:

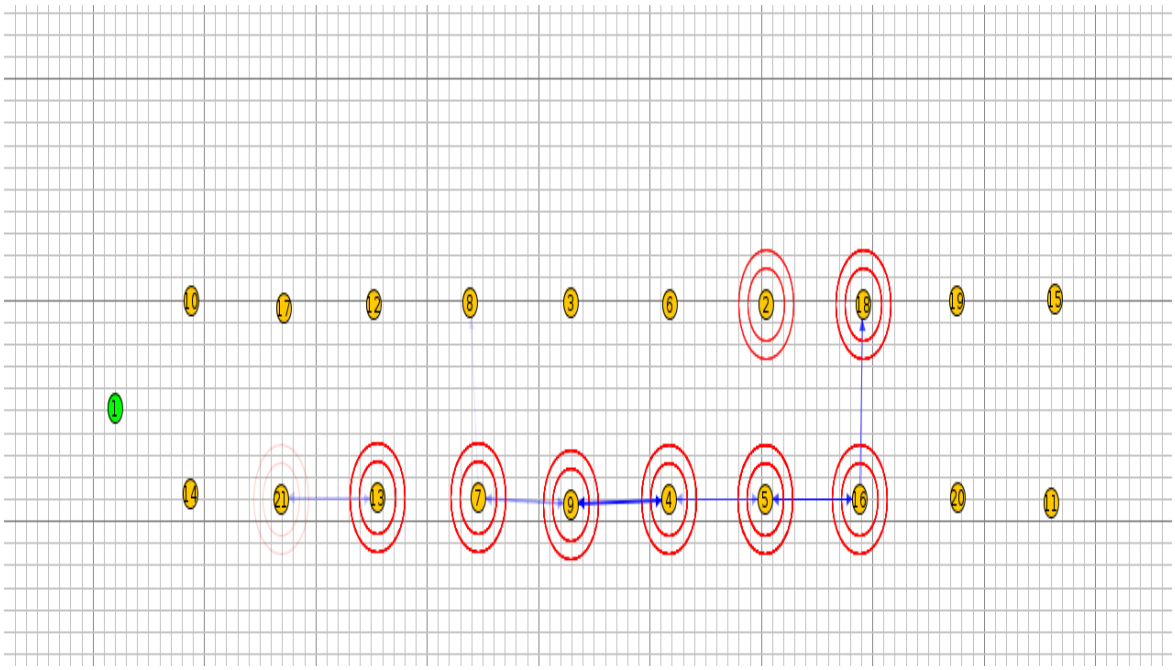


الشكل (8) بناء الشبكة وفق طوبولوجيا Bus

- العقد الملونة بالأصفر هي عقد التحسس
- العقدة الملونة بالأخضر هي عقدة المصب Sink
- الدوائر الحمراء تمثل تحسس الوسط
- الاسهم الزرقاء تمثل عملية الارسال مع المسار
- يتم اختيار عدد العقد ونموذج النشر فيقوم المحاكي بتوزيع العقد وترقيمها عشوائياً.

- **السيناريو الثاني:**

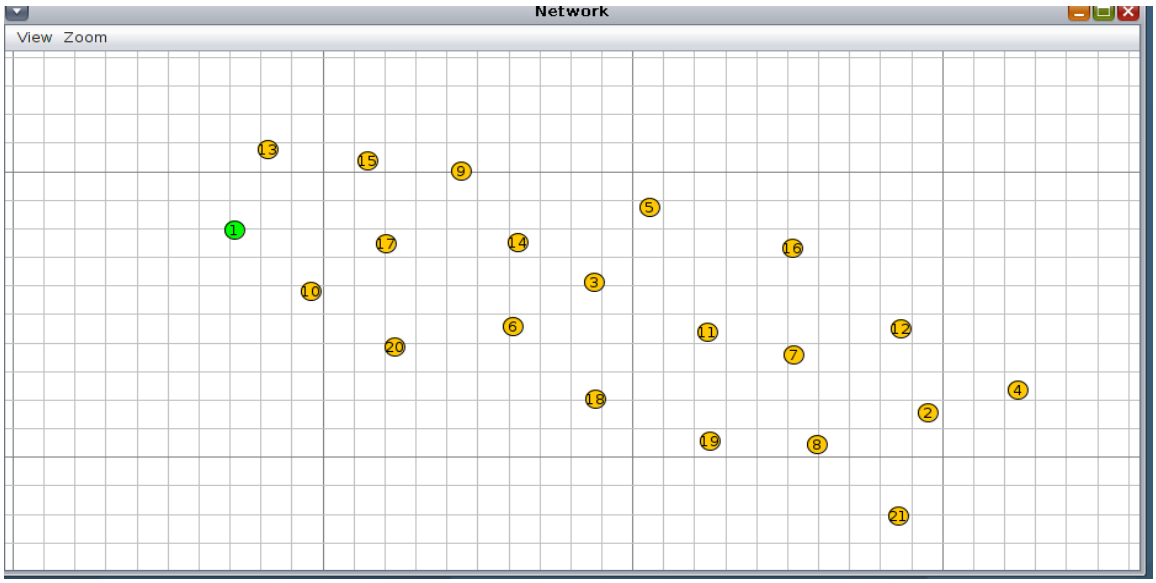
سنقوم بإنشاء الشبكة وفق طوبولوجيا Mesh معدلة مكونة من 20 عقدة ومصب للبيانات:



الشكل (9) بناء الشبكة وفق طوبولوجيا Mesh

- **السيناريو الثالث:**

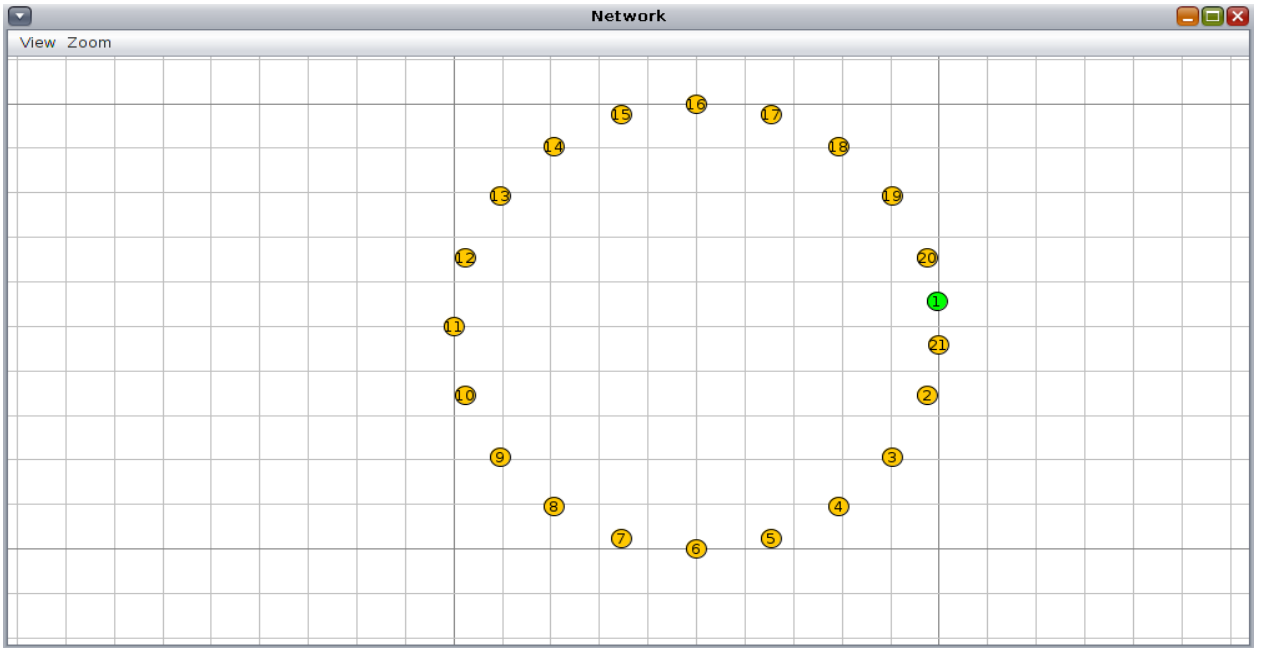
سنقوم بإنشاء الشبكة وفق طوبولوجياً Random مكونة من 20 عقدة ومصب للبيانات:



الشكل (10) بناء الشبكة وفق طوبولوجيا Random

- **السيناريو الرابع:**

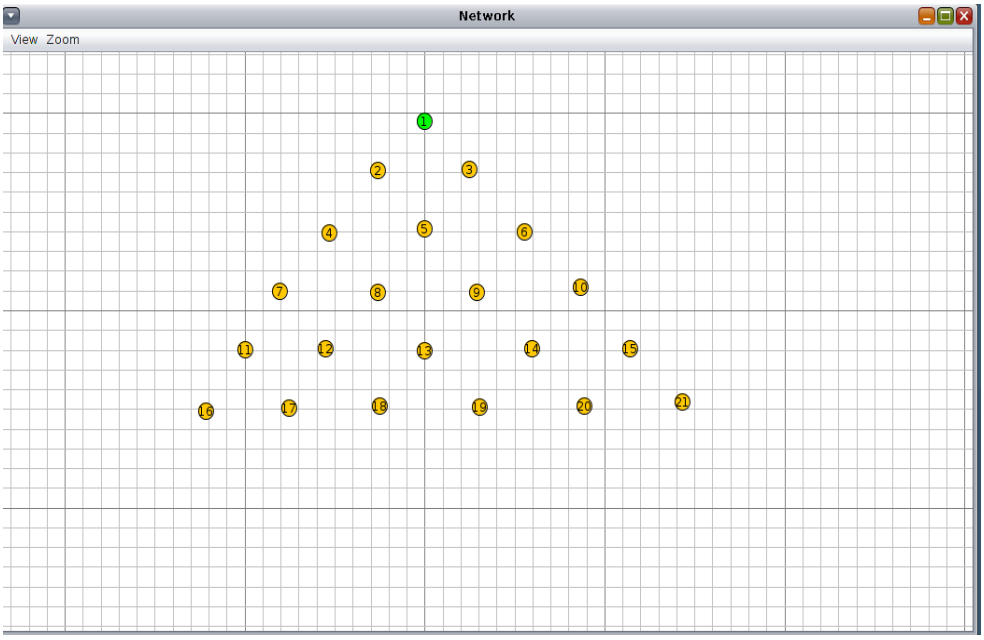
سنقوم بإنشاء الشبكة وفق طوبولوجيا Ring مكونة من 20 عقدة ومصب للبيانات:



الشكل (11) بناء الشبكة وفق طوبولوجيا Ring

- **السيناريو الخامس:**

سنقوم بإنشاء الشبكة وفق طوبولوجيا Tree مكونة من 20 عقدة ومصب للبيانات:

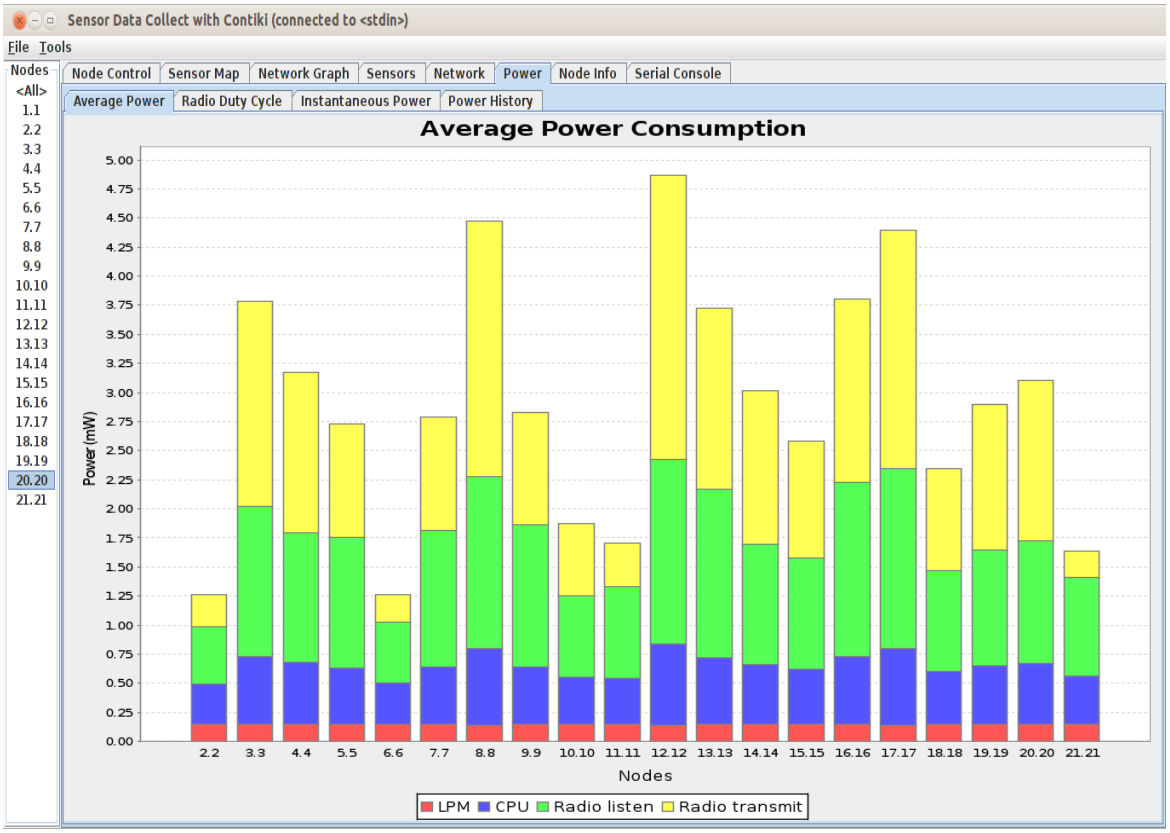


الشكل (12) بناء الشبكة وفق طوبولوجيا Tree

– النتائج ومناقشتها:

يبين الشكل (13) استهلاك الاستطاعة في السيناريو الاول وفق طوبولوجيا Bus ،ويتبين أن أعلى استهلاك للاستطاعة عند العقدة 12 يساوي 4.8 واط ومعدل استهلاك الاستطاعة 2.912 واط ، وقد قمنا بحسابه وفق العلاقة:

$$Pavr = \sum Pi / N = 58.24 / 20 = 2.912 \quad WAT \qquad (1)$$



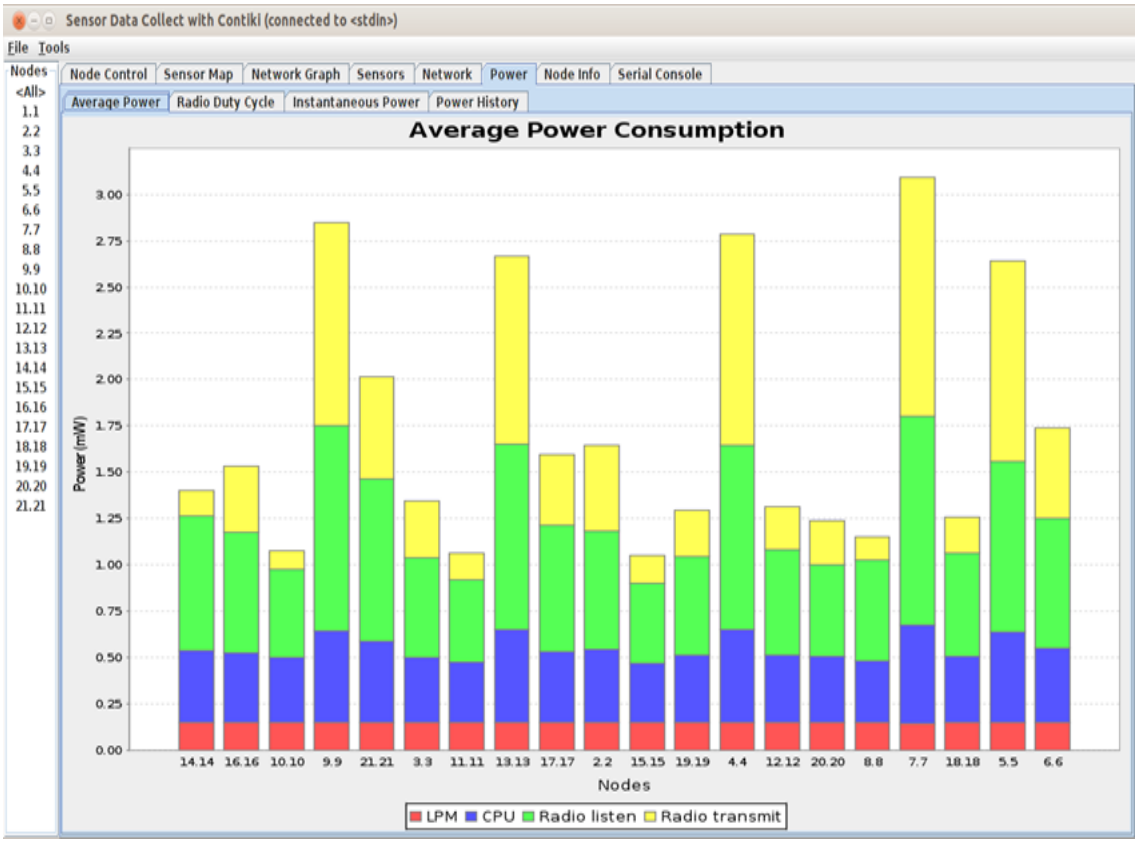
الشكل (13) مخطط استهلاك الاستطاعة للعقد وفق السيناريو الاول

وتنقسم الاستطاعة المستهلكة في كل عقدة الى 4 اقسام:

- Radio Transmit : الاستطاعة المستهلكة خلال الارسال وهي القسم الاكبر من الاستهلاك .
- Radio listen : الاستطاعة المستهلكة خلال الاستلام
- CPU : الاستطاعة المستهلكة خلال المعالجة

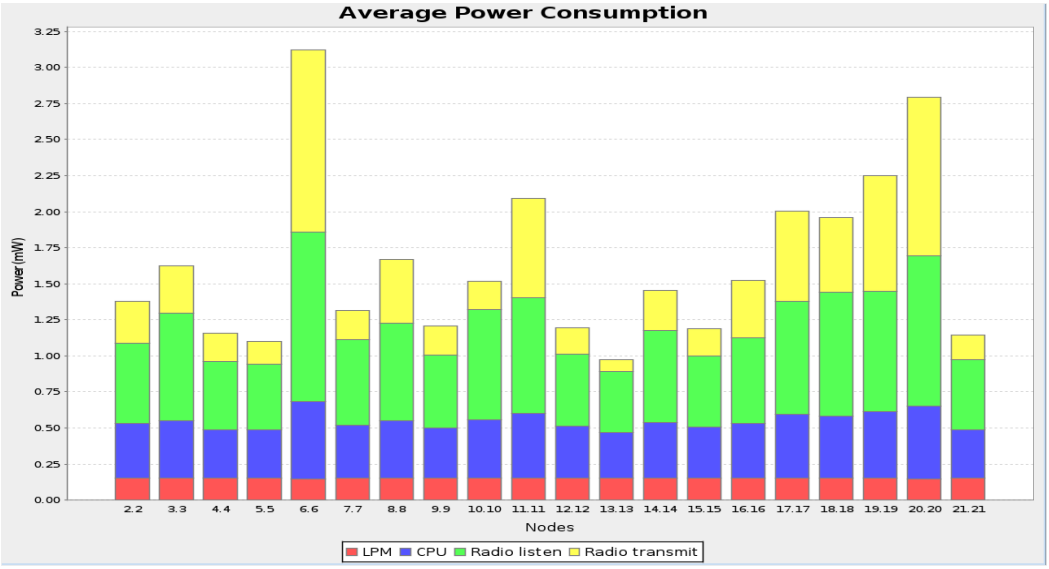
- LPM : الاستطاعة المستهلكة خلال فترة النوم

بينما يبين الشكل (14) استهلاك الاستطاعة في السيناريو الثاني وفق طوبولوجيا Mesh ، ويتبين أن أعلى استهلاك للاستطاعة عند العقدة 7 يساوي 3.1 واط ومعدل استهلاك الاستطاعة 1.738 واط وفق العلاقة (1).



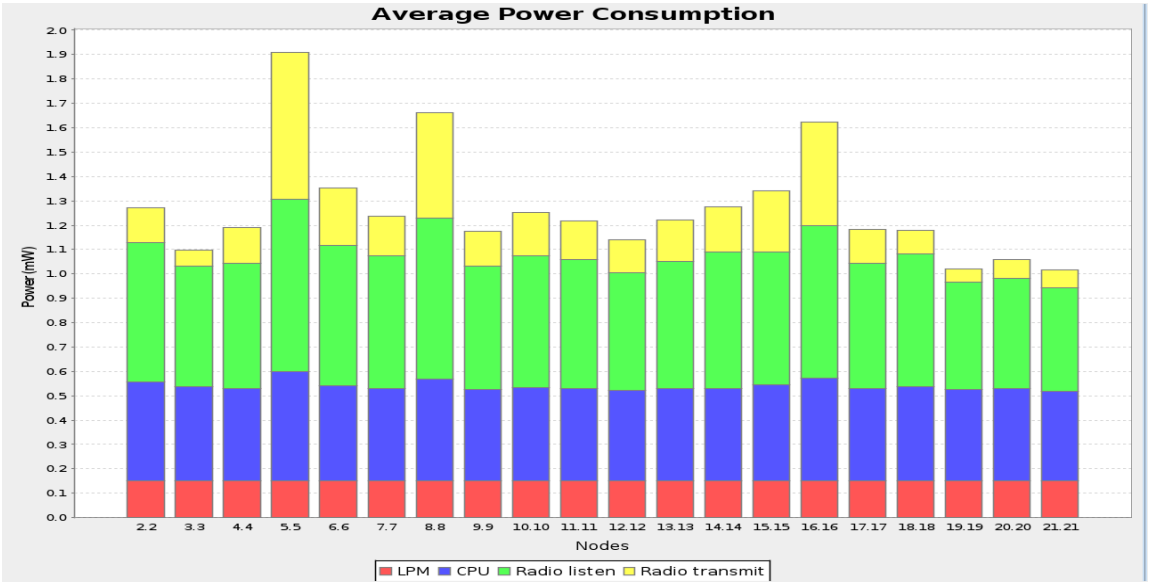
الشكل (14) مخطط استهلاك الاستطاعة للعقد وفق السيناريو الثاني

بينما يبين الشكل (15) استهلاك الاستطاعة في السيناريو الثالث وفق طوبولوجيا Random ، ويتبين أن أعلى استهلاك للاستطاعة عند العقدة 6 يساوي 3.1 واط ومعدل استهلاك الاستطاعة 1.633 واط وفق العلاقة (1).



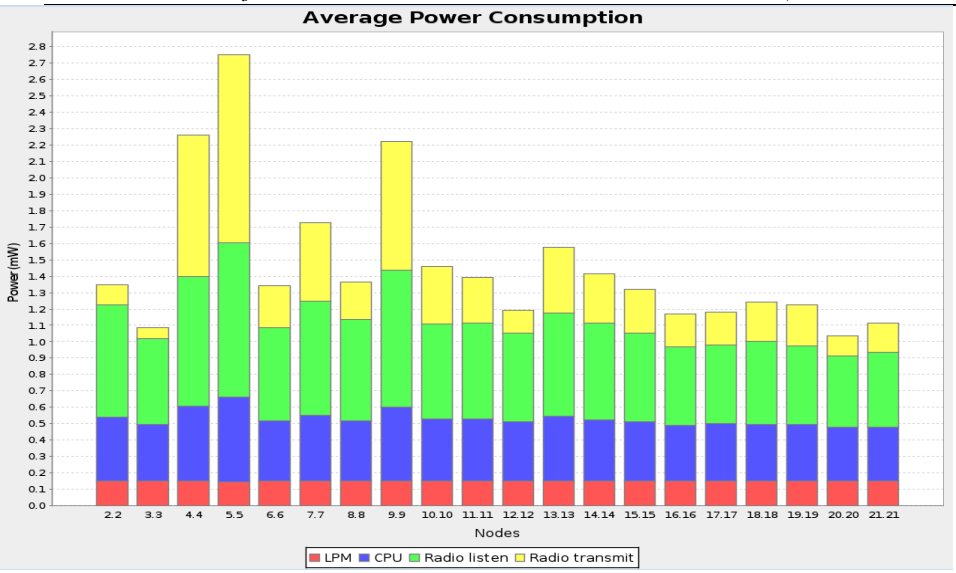
الشكل (15) مخطط استهلاك الاستطاعة للعقد وفق السيناريو الثالث

يبين الشكل (16) استهلاك الاستطاعة في السيناريو الرابع وفق طوبولوجيا Ring ، حيث أن أعلى استهلاك للاستطاعة عند العقدة 5 يساوي 1.9 واط ومعدل استهلاك الاستطاعة 1.272 واط وفق العلاقة (1).



الشكل (16) مخطط استهلاك الاستطاعة للعقد وفق السيناريو الرابع

يبين الشكل (17) استهلاك الاستطاعة في السيناريو الخامس وفق طوبولوجيا Tree، ويتبين أن أعلى استهلاك للاستطاعة عند العقدة 5 يساوي 2.75 واط ومعدل استهلاك الاستطاعة 1.471 واط وفق العلاقة (1).



الشكل (17) مخطط استهلاك الاستطاعة للعقد وفق السيناريو الخامس

بالمقارنة تبين ان تبين ان الطوبولوجيا الحلقية Ring هي الاقل استهلاكاً للاستطاعة تليها العشوائية Random ثم الشبكية Mesh ثم الشجرية Tree ثم المستقيمة Bus.

حيث اننا في الطوبولوجيا الحلقية يوجد مساران لعملية الارسال أحدها مع عقارب الساعة والآخر عكس عقارب الساعة مما يقلل عمليات الفشل في الارسال وكذلك يقلل عمليات اعادة الارسال وبالتالي يقلل استهلاك الاستطاعة.

6- الاستنتاجات:

تم في هذه المقالة اســتعراض تقنية انترنت الاشــياء وبرتوكول التوجيه الخاص به RPL بالإضافة الى انواع طوبولوجيا النشر في شبكات الحساسات اللاسلكية وميزاتها ومساوئها كما تم محاكاة شبكة حساسات لاسلكية عبر تقنية انترنت الأشياء لمراقبة منطقة حدودية.

وتم إنجاز محاكاة الشبكة باستخدام محاكي COOJA Contiki بتطبيق 5 سيناريوهات وفق طوبولوجيا: (Mesh , Bus, Tree , Ring Random) ومقارنة استهلاك الاستطاعة لكل منهما.

حيث تبين ان الطوبولوجيا الحلقية Ring هي الاقل استهلاكاً للاستطاعة تليها العشوائية Random ثم الشبكية Mesh ثم الشجرية Tree ثم المستقيمة Bus عند استخدام دالة الهدف OF_0. وانه باستخدام طوبولوجيا Ring بإمكاننا توفير الاستطاعة مما يحقق عمرا اطول للشبكة المدروسة، بينما في الدراسة المرجعية [11] تبين ان الطوبولوجيا الشجرية هي الافضل من حيث معدل استهلاك الاستطاعة وذلك لأنه تم تطبيق دالة الهدف MRHOF في هذه الدراسة. نستنتج من ذلك أن بروتوكول التوجيه RPL يحقق استهلاكاً أقل للاستطاعة عند تطبيقه وفق طوبولوجيا النشر Ring ودالة الهدف OF_0 مقارنة بتطبيقه عند طوبولوجيا أخرى.

مع التأكيد انه لا يمكننا تعميم النتائج السابقة لأنها مرتبطة ارتباطاً تاماً بنوع العقد وطريقة توزعها والمسافة بينها والبارامترات المدخلة الاخرى خصوصا دالة الهدف.

7- التوصيات:

من اجل الاعمال المستقبلية اوصي بتطبيق الدراسة على طوبولوجيا السلسة Chain كونها تمثل أحد طوبولوجيات النشر على الحدود وتحليل اداء البروتوكول RPL وفق هذه الطوبولوجيا.

المراجع:

[1]-Dionisis Kandris 1,* , Christos Nakas 1 , Dimitrios Vomvas 1 and Grigorios Koulouras 2 .2020 Applications of Wireless Sensor Networks: An Up-to-Date Survey ,applied system innovation, ; doi:10.3390/asi3010014

[2]- Flammini, A., & Sisinni, E. 2014, *Wireless sensor networking in the Internet of things and cloud computing era*. Procedia Engineering, 87, 672-679. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.11.577

[3]- Shamneesh Sharma , Keshav Kishore . 2013 , Wireless Sensor Networks- A Review on Topologies and Node Architecture . International Journal of Computer Sciences and Engineering . Vol.-1(2), pp (19-25) Oct 2013.

[4]- Sameer Dewangan*, Ashish Kumar Pandey, Nilmani Verma, Deepak Xaxa . 2015 . A COMPARATIVE ASSESSMENT OF TOPOLOGIES AND THEIR ISSUES IN WIRELESS SENSOR NETWORKS . INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES & RESEARCH TECHNOLOGY.

[5]- GOZUACIK,N. 2015, *PARENT-AWARE ROUTING ALGORITHM FOR RPL IN IOT NETWORKS*. ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY F GRADUATE SCHOOL OF SCIENCE ENGINEERING AND TECHNOLOGY.

[6]- Lakshmi Devasena, C. 2016, IPv6 low power wireless personal area network (6LoWPAN) for networking Internet of things (IoT) – Analyzing its suitability for IoT. Indian Journal of Science and Technology, 9(30). https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i30/98730

[7]- Thubert,P, Ed. 2012, RPL: IPv6 Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks, *Rfc 6550 RPL, Internet Engineering Task Force (IETF)*.

[8] – م. مجد علي ، 2021 ، تأثير عدد العقد على اداء شبكة الحساسات اللاسلكية المستخدمة لبروتوكول التوجيه RPL ، مجلة جامعة طرطوس للعلوم الهندسية، سوريا، 14 صفحة.

[9]- E.Sesli, Gökçe Hacıoğlu." Contiki OS Usage in Wireless Sensor Networks (WSNs)." Turkish Journal of Electromechanics & Energy, Turk J Electrom Energ Vol.: 2 No: 2 Page: 1-6 (2017)

[10]- Mr. Manifavas Charalambos, "CoAP-enabled Sensors for the Internet-of-Things. TECHNOLOGICAL EDUCATIONAL INSTITUTE OF CRETE Department of Applied Informatics & Multimedia," Crete 2014 ©

[11]- Suneeta Mishra, Vidushi Sharma, " Effect of Network Topology on RPL Performance

Metric," EasyChair 2023©