

تأثير زيادة عدد العقد على أداء شبكة الحساسات اللاسلكية المستخدمة لبروتوكول التوجيه RPL

د. ناجي محمد *

م. مجد علي **

(تاريخ الإيداع 2021/ 8/ 1 . قبل للنشر في 2022/ 2/ 21)

□ ملخص □

تزايد الاهتمام في استثمار شبكة الانترنت لأغراض المراقبة والتحكم ومختلف تطبيقات الحياة، ومع انطلاق شبكات الحساسات اللاسلكية وهي نوع جديد من الشبكات المزودة للمعلومات كان لا بد من تكاملها مع شبكة الانترنت، ومن هنا يبرز دور التقنية الواعدة -انترنت الأشياء- وتوظيفها لشبكات الحساسات اللاسلكية في العديد من التطبيقات منها الأبنية الذكية والزراعة الذكية وشبكات الكهرباء الذكية والنقل الذكي.

يتضمن التصميم تطبيق توابع الغرض (Objective function) الخاصة ببروتوكول التوجيه RPL (Routing Protocol for Low power and Lossy Networks) المستخدم، حيث تمت دراسة تأثير زيادة عدد العقد في الشبكة على تطبيق توابع الغرض، وتبين أن تابع الغرض OF0 (Objective Function Zero) يقدم أداء أفضل مع زيادة عدد العقد في الشبكة من أجل حمل رسائل التحكم بنسبة 33.7 %، ومن أجل معدل عمر البطارية للعقد بنسبة 22.5 % بالمقارنة مع تابع الغرض MRHOF (Minimum Rank Hystersis Objective Function).
كلمات مفتاحية: انترنت الأشياء، بروتوكول التوجيه، تابع الغرض، حساسات لاسلكية.

* مدرس في كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات - قسم هندسة تكنولوجيا الاتصالات - جامعة طرطوس.
* خريج دراسات عليا في كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات - قسم هندسة تكنولوجيا الاتصالات- جامعة طرطوس.

Study of the effect of increasing the number of nodes on the performance of the wireless sensor network that uses RPL routing protocol

Dr.Naji Mohammad*

Eng. Majd Ali**

(Received 1 / 8/ 2021 . Accepted 21 / 2/ 2022)

□ ABSTRACT □

The investment in the internet networks for monitoring and control purposes in different life applications was increased. And With the launch of the wireless sensor networks which a new type of networks that serve information, it had to be integrated with the Internet. and here emerges the role of promising technology Internet of things and the use of wireless sensor networks in many applications, including smart buildings, smart Agriculture, smart grid and smart transportation systems.

The design includes the application of the objective functions of the routing protocol RPL used, It was found that (Objective Function Zero) OF0 provides better performance with an increase in the number of nodes in the network in terms of control message load by 33.7% and average battery life time of nodes by 22.5% compared to the MRHOF (Minimum Rank Hystersis Objective Function) object.

Key words: IoT, Routing Protocol, Objective function, WSN.

*Teacher, Communication Technology Engineering Department, Information and communication Technology Engineering , Tartous University.

**Master graduated, Communication Technology Engineering Department, Information and communication Technology Engineering faculty, Tartous University.

1- مقدمة:

تمثل شبكات الحساسات اللاسلكية [1] جزءاً هاماً وأساسياً في مختلف تطبيقات المراقبة والتحكم، وبغية تحقيق الوصول من أي مكان وفي أي زمان لهذه التطبيقات جاءت تكنولوجيا انترنت الأشياء [2] لتؤمن الربط الفعال على الانترنت لشبكات الحساسات اللاسلكية المعتمدة على المعيار IEEE 802.15.4 [3]، وذلك من أجل تمكين المراقبة والتحكم [4] في العديد من الأشياء التي أصبحت متصلة على الانترنت، لذلك فإن تصميم شبكة حساسات لاسلكية معتمدة على تقنية انترنت الأشياء تتطلب توظيف بروتوكولات خاصة تحقق متطلبات التشبيك المعياري على الانترنت وتحقق التكيف مع الاحتياجات المختلفة للتطبيقات، وهذا ما سنتناوله في البحث.

2- الغاية من البحث:

التعريف ببروتوكول التشبيك RPL لإنترنت الأشياء ودراسة تأثير زيادة عدد العقد على توزيع الحمل ومعدل عمر البطارية للعقد في شبكة الحساسات اللاسلكية الموظفة لبروتوكول التوجيه لإنترنت الأشياء.

3- طريقة البحث وأساليبه:

3-1- نظام التشغيل Contiki:

طُوّر نظام (Contiki OS) ، الذي يعتمد على لغة البرمجة C والمفتوح المصدر ، لشبكات الحساسات اللاسلكية خفيفة الوزن والمرنة ومنخفضة الطاقة.

إن تكوين Contiki القياسي لجهاز التحكم الدقيق بالشكل التالي: 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 لغة 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 أيضاً في العتاد المادي المراد محاكاته [10] .

COOJA قادر أيضاً على محاكاة العقد غير التابعة لـ Contiki ، مثل العقد المنفذة في Java أو حتى العقد التي تشغل في نظام تشغيل آخ [10] .

4- 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 الطبقة الفيزيائية وفق المعيار IEEE 802.15.4 وطبقة وصل المعطيات وفق البروتوكول (Medium MAC Access Control)، إن هذا البروتوكول مصمم من أجل الشبكات المعتمدة على التجميع، حيث ترسل العقد بشكل الدوري للقياسات إلى عقدة المجمع أو المصب، وتصنف شبكة هذا البروتوكول ضمن اتصالات عدة نقط إلى نقطة واحدة

(Multipoint-to-point) وأيضا تدعم اتصالات نقطة إلى عدة نقط (Point-to-Multipoint) وكذلك نقطة إلى نقطة (Point-to-Point) [5].

يتمركز دور بروتوكول RPL في طبقة الشبكة لحزمة المعيار LowPAN [6] حيث يستند في العمل فوق طبقة الملازمة (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 (Low Power and Lossy Network) LLN. بشكل مخصص أكثر فإن RPL ينظم العقد في مخطط (Destination-Oriented DAGs) حيث أن أكثر عقد الوجهة شجرية 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 Low power and lossy) (Border Routers):

تمثل جذر مخطط (DODAG) ونقطة تجميع الشبكة (Sink node) وتمتلك 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 المضيفة النهائية Hosts: العقد الموجودة في آخر الشجرة وتدعى أوراق Leaf تولد البيانات فقط. [5]

أثناء عملية تشكيل طوبولوجيا الشبكة يحدد كل موجه مجموعة مستقرة من العقد الآباء في سبيل إنشاء مسار باتجاه الجذر ويختار الأب الأفضل، حيث يُعتمد على تابع الغرض (Objective function). يحدد تابع الغرض كيف يمكن للعقد أن تترجم واحدة أو أكثر من المقاييس Metrics (قيمة كمية تستخدم من أجل حساب كلفة المسار [8]) إلى صفوف Rank (البعد المنطقي للعقدة عن الجذر [7]) ، وكيف يمكن اختيار وتحسين المسارات في (DODAG) كما يحدد قيود التوجيه وتحسيناته.

مثل تلك المقاييس التي يستخدمها تابع الغرض لكي يحسب الصفوف (التأخير، جودة الوصلة، التوصيل، ETX، عدد مرات الإرسال لرزمة على وصلة محددة Expected Retransmissions، عدد القفزات Hop count) [8] .

4-1- نوابغ الغرض التي يوظفها البروتوكول RPL:

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

MRHOF: يعمل تابع الغرض هذا على إيجاد المسارات ذات الكلفة الأقل بحيث يقلل الحمل في الشبكة، ويستخدم ETX كمقياس توجيه والمعطى بالعلاقة التالية:

$$ETX = \frac{1}{Df * Dr} \quad (1)$$

حيث ETX عدد الإرسالات المتوقع، و Df احتمالية استقبال الرزمة من قبل العقدة الجار، و Dr احتمال استقبال إشعار الوصول Ack للرزمة المستقبلية بشكل صحيح [12] .
ينفذ ذلك باستخدام تقنيتين:

التقنية الأولى (Minimum Rank): إيجاد المسار ذو الكلفة الأقل، المسار ذو الصف الأدنى.
التقنية الثانية (Hystersis): يحول إلى المسار ذو الصف الأدنى فقط إذا كان أقصر من المسار الحالي بعتبة معينة، التراجع أو التباطؤ Hystersis.

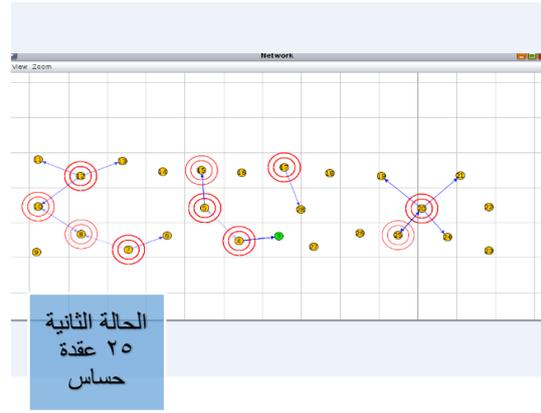
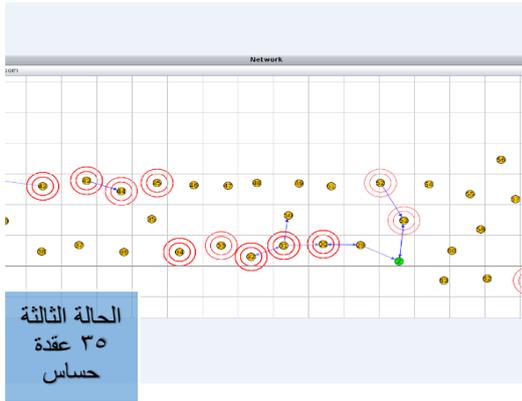
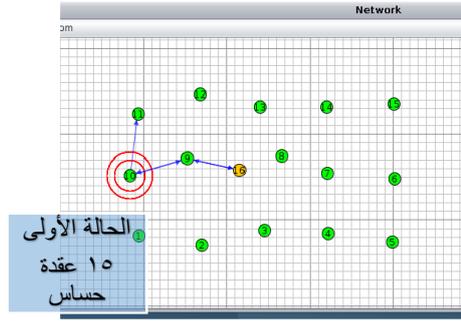
لكي يعمل تابع الغرض يجب على العقد أن تدعم مقياس ETX وعلى الأقل البارامترات التالية: التأخير Latency و عدد القفزات Hop count [12].

يحدد المسار من عقدة محددة إلى جذر (DODAG) بأصغر مجموع لـ ETX من بين المسارات المتاحة [12].

5- تصميم الشبكة:

3-1- التصميم الشبكي:

سنقوم بمحاكاة ثلاث حالات الحالة الأولى شبكة بـ 15 عقدة والحالة الثانية شبكة بـ 25 عقدة والحالة الثالثة شبكة بـ 35 عقدة لنبين تأثير زيادة عدد العقد، وسنقارن سيناريوهين لكل حالة، وفي كل سيناريو سنستخدم تابعي غرض (OF0) و (MRHOF) الخاصين ببروتوكول RPL والمسؤول بدوره عن تشكيل الشبكة عن طريق مخطط (DODAG). سيتم بناء التصميم وتنفيذ المحاكاة باستخدام محاكي الشبكات Cooja المضمن في نظام التشغيل Contiki الخاص بتقنية انترنت الأشياء والذي يؤمن أدوات متعددة وفعالة في تشكيل الشبكة والتحكم بالمحاكاة وتحصيل المعطيات. يبين الشكل (1) توزيع العقد في كل من الحالات الثلاث.



الشكل (1) توزيع العقد في الشبكة لكل من الحالات الثلاث

يوضح الجدول التالي بارامترات اعداد المحاكاة:

الجدول (1) بارامترات المحاكاة

القيمة	البارامتر
Contiki 3.0	بيئة المحاكاة
محاكي الشبكات Cooja في نظام التشغيل	الطبولوجيا
Grid	الوسط الراديوي
Unit Disk Graph Medium (UDGM), with distance lose	نوع العقد
Sky mote	عدد العقد
عقدة 35-25-15	معدل النقل
250 kbps	التردد المستخدم
2.4 GHz	بروتوكول التوجيه
RPL	تابع الغرض
MRHOF/OF0	

6- نتائج تحليل الشبكة والمناقشة:

6-1 حمل رسائل التحكم (ICMPv6 Control message traffic):

استخلصت دراسة سابقة [13] نسب الحمل لرسائل التحكم عن طريق محلل الرزم Wireshark الموجود ضمن نظام التشغيل Contiki المستخدم، إذ تولد المحاكاة عن طريق المحاكى Cooja ملف بناء Build، يحتوي تسجيلات أحداث وبارامترات القياس للشبكة التي قمنا بمحاكاتها، تظهر هذه النسب في نافذة إحصائيات هرمية البروتوكول Protocol Hierarchy Statistics، والتي تسجل نسب وحدات البيانات المتبادلة في كل طبقة، وتتمثل رزم رسائل التحكم ICMPv6 في طبقة الشبكة كما هو موضح في الأشكال من (2) إلى (7).

Protocol	% Packets	Packets	% Bytes	Bytes	Mbit/s	End Packets	End Bytes	End Mbit/s
Frame	100.00 %	8956	100.00 %	776912	0.004	0	0	0.000
IEEE 802.15.4 Low-Rate Wireless PAN	100.00 %	8956	100.00 %	776912	0.004	546	2730	0.000
IPv6 over IEEE 802.15.4	93.90 %	8410	99.65 %	774182	0.004	0	0	0.000
Internet Protocol Version 6	93.90 %	8410	99.65 %	774182	0.004	0	0	0.000
Internet Control Message Protocol v6	69.33 %	6209	71.73 %	557283	0.003	6209	557283	0.003
User Datagram Protocol	24.58 %	2201	27.92 %	216899	0.001	0	0	0.000
Data	24.58 %	2201	27.92 %	216899	0.001	2201	216899	0.001

الشكل (2) حمل رسائل التحكم في حالة 15 عقدة من أجل تابع الغرض OF_0 [13]

Protocol	% Packets	Packets	% Bytes	Bytes	Mbit/s	End Packets	End Bytes	End Mbit/s
Frame	100.00 %	9773	100.00 %	844704	0.004	0	0	0.000
IEEE 802.15.4 Low-Rate Wireless PAN	99.99 %	9772	99.99 %	844640	0.004	577	2885	0.000
IPv6 over IEEE 802.15.4	94.09 %	9195	99.65 %	841755	0.004	0	0	0.000
Internet Protocol Version 6	94.09 %	9195	99.65 %	841755	0.004	0	0	0.000
Internet Control Message Protocol v6	72.18 %	7054	74.55 %	629731	0.003	7054	629731	0.003
User Datagram Protocol	21.91 %	2141	25.10 %	212024	0.001	0	0	0.000
Data	21.91 %	2141	25.10 %	212024	0.001	2141	212024	0.001
Text item	0.01 %	1	0.01 %	64	0.000	1	64	0.000

الشكل (3) حمل رسائل التحكم في حالة 15 عقدة من أجل تابع الغرض MRHOF [13]

Protocol	% Packets	Packets	% Bytes	Bytes	Mbit/s	End Packets	End Bytes	End Mbit/s
▼ Frame	100.00 %	47880	100.00 %	4219775	0.011	0	0	0.000
▼ IEEE 802.15.4 Low-Rate Wireless PAN	100.00 %	47880	100.00 %	4219775	0.011	1906	9530	0.000
▼ IPv6 over IEEE 802.15.4	96.02 %	45974	99.77 %	4210245	0.011	0	0	0.000
▼ Internet Protocol Version 6	96.02 %	45974	99.77 %	4210245	0.011	0	0	0.000
Internet Control Message Protocol v6	55.72 %	26681	52.64 %	2221167	0.006	26681	2221167	0.006
▼ User Datagram Protocol	40.29 %	19293	47.14 %	1989078	0.005	0	0	0.000
Data	40.29 %	19293	47.14 %	1989078	0.005	19293	1989078	0.005

الشكل (4) حمل رسائل التحكم في حالة 25 عقدة من أجل تابع الغرض OF_0 [13]

Protocol	% Packets	Packets	% Bytes	Bytes	Mbit/s	End Packets	End Bytes	End Mbit/s
▼ Frame	100.00 %	51612	100.00 %	4486972	0.000	0	0	0.000
▼ IEEE 802.15.4 Low-Rate Wireless PAN	100.00 %	51612	100.00 %	4486972	0.000	2004	10020	0.000
▼ IPv6 over IEEE 802.15.4	96.12 %	49608	99.78 %	4476952	0.000	0	0	0.000
▼ Internet Protocol Version 6	96.12 %	49608	99.78 %	4476952	0.000	0	0	0.000
Internet Control Message Protocol v6	60.75 %	31355	57.89 %	2597313	0.000	31355	2597313	0.000
▼ User Datagram Protocol	35.37 %	18253	41.89 %	1879639	0.000	0	0	0.000
Data	35.37 %	18253	41.89 %	1879639	0.000	18253	1879639	0.000

الشكل (5) حمل رسائل التحكم في حالة 25 عقدة من أجل تابع الغرض MRHOF [13]

Protocol	% Packets	Packets	% Bytes	Bytes	Mbit/s	End Packets	End Bytes	End Mbit/s
▼ Frame	100.00 %	112944	100.00 %	10109469	0.014	0	0	0.000
▼ IEEE 802.15.4 Low-Rate Wireless PAN	100.00 %	112944	100.00 %	10109469	0.014	3812	19060	0.000
▼ IPv6 over IEEE 802.15.4	96.62 %	109132	99.81 %	10090409	0.014	0	0	0.000
▼ Internet Protocol Version 6	96.62 %	109132	99.81 %	10090409	0.014	0	0	0.000
Internet Control Message Protocol v6	49.90 %	56355	45.51 %	4600717	0.006	56355	4600717	0.006
▼ User Datagram Protocol	46.73 %	52777	54.30 %	5489692	0.008	0	0	0.000
Data	46.73 %	52777	54.30 %	5489692	0.008	52777	5489692	0.008

الشكل (6) حمل رسائل التحكم في حالة 35 عقدة من أجل تابع الغرض OF_0 [13]

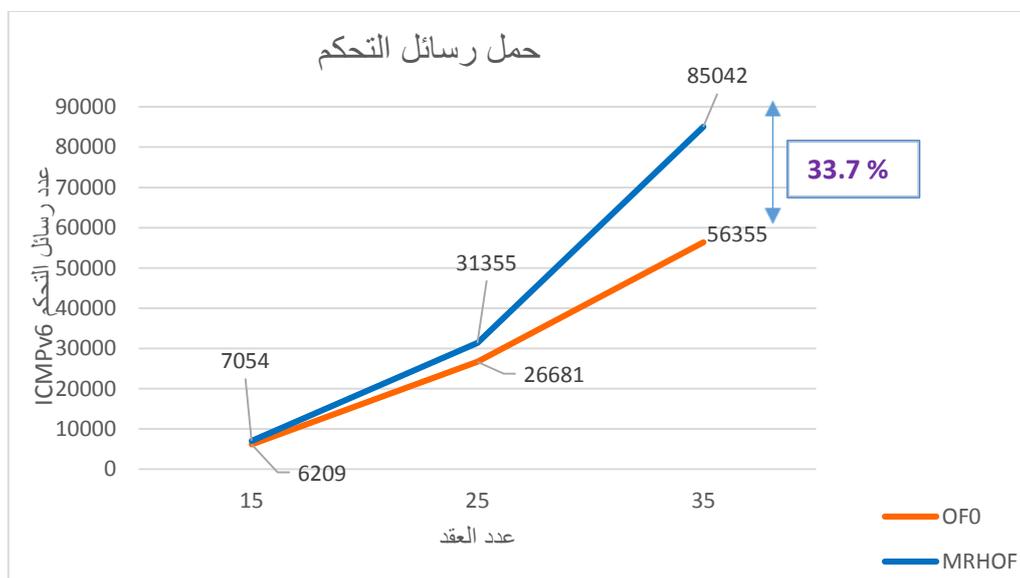
Protocol	% Packets	Packets	% Bytes	Bytes	Mbit/s	End Packets	End Bytes	End Mbit/s
▼ Frame	100.00 %	140924	100.00 %	12163883	0.015	0	0	0.000
▼ IEEE 802.15.4 Low-Rate Wireless PAN	100.00 %	140924	100.00 %	12163883	0.015	4622	23110	0.000
▼ IPv6 over IEEE 802.15.4	96.72 %	136302	99.81 %	12140773	0.015	0	0	0.000
▼ Internet Protocol Version 6	96.72 %	136302	99.81 %	12140773	0.015	0	0	0.000
Internet Control Message Protocol v6	60.35 %	85042	56.06 %	6818588	0.008	85042	6818588	0.008
▼ User Datagram Protocol	36.37 %	51260	43.75 %	5322185	0.006	0	0	0.000
Data	36.37 %	51260	43.75 %	5322185	0.006	51260	5322185	0.006

الشكل (7) حمل رسائل التحكم في حالة 35 عقدة من أجل تابع الغرض MRHOF [13]

يبين المخطط في الشكل (8) مقارنة بيانية بين تابعي الغرض من أجل الحالات الثلاث.

بما أن تابع الغرض MRHOF يقوم بمتابعة ظروف الشبكة بما يتعلق بجودة الوصلة اللاسلكية، فهو في حالة تحديث دوري، وبالتالي يبث المزيد من رسائل التحكم خاصة مع زيادة عدد العقد في الشبكة، وهذه الرسائل مسؤولة عن تبادل المعلومات عن حالة الشبكة بين العقد ومع عقدة الجذر وعن الصيانة الدورية لها، أما تابع الغرض OF0 لا يراقب تغيرات جودة الوصلة اللاسلكية بين عقد الشبكة، لذلك لا يبث المزيد من رسائل التحكم. لذلك نلاحظ تزايد الفرق بشكل ملحوظ يصل لنسبة 33.7 % لتابع الغرض MRHOF زيادة بالنسبة لعدد رسائل التحكم لتابع الغرض OF0 [13].

نلاحظ بأن الزيادة في نسبة حمل رسائل التحكم عشوائية وذلك بسبب الطبيعة العشوائية لتغيرات البيئة المحيطة لعقد الحساسات اللاسلكية، لذلك فإن زيادة عدد العقد في الشبكة لا ينتج عنه بالضرورة نفس نسبة الزيادة في حمل رسائل التحكم.



الشكل (8) مقارنة بيانية لحمل رسائل التحكم ICMPv6 بين تابعي الغرض من أجل الحالات الثلاث [13]

4-2- عمر البطارية:

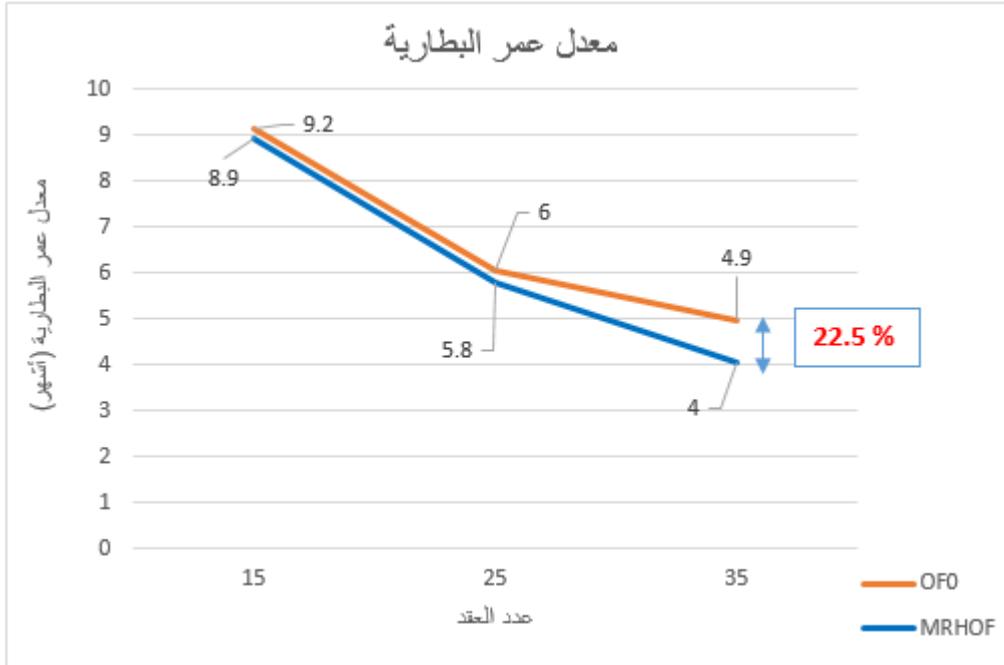
قيس في دراسة سابقة [13] معدل استهلاك الطاقة في شبكة حساسات لاسلكية وفق 3 حالات (15 و 25 و 35) عقدة من أجل كل من تابعي الغرض (MRHOF , OF_0)، وتبين أن تابع الغرض MRHOF يستهلك طاقة أكبر مما يستهلكه تابع الغرض OF_0 مع زيادة عدد العقد في الشبكة، بالنسبة لمعدل استهلاك الطاقة عند تابع الغرض OF0.

باعتبار استخدام بطاريتي AA باستطاعة 2500 mAH وجهد 1.5 V لكل بطارية، يمكن حساب معدل عمر البطارية للعقد وفق استهلاك الاستطاعة المدروس سابقاً لكل من تابعي الغرض ومن أجل الحالات الثلاث، وذلك وفق المعادلة:

$$[14] \quad AVTL = \frac{2500 \text{ mAH} \times 1.5 \text{ V} \times 2}{P \text{ mW} \times 24 \text{ Hour} \times 365 \text{ Day}} \times 12 \quad (1)$$

حيث AVTL معدل زمن حياة البطارية بالأشهر، P معدل استهلاك الطاقة بالميلي واط.

يبين الشكل (10) المقارنة بين تابعي الغرض من ناحية معدل عمر البطارية وفق الحالات الثلاثة، حيث يتبين جلياً تناقص عمر البطارية مع ازدياد عدد العقد لكلا تابعي الغرض، وتقارب عمرها لكل من تابعي الغرض من أجل عدد العقد (15 و 25) مع بقاء عمر البطارية أكبر بحوالي شهر (نسبة الفرق % 22.5) لتابع الغرض OF_0 من تابع الغرض MRHOF من أجل 35 عقدة، بسبب التفاوت الواضح في استهلاك الطاقة عند الحالة الثالثة (MRHOF استهلاك أعلى).



الشكل (10) معدل عمر البطارية لكل من تابعي الغرض من أجل الحالات الثلاثة

الاستنتاجات:

استعرضنا في هذه المقالة بروتوكول التوجيه RPL الخاص بإنترنت الأشياء، وكيفية تحقيق التصميم الشبكي عن طريق هذا البروتوكول، الذي يستخدم واحد من تابعي الغرض الموظفين في نظام التشغيل Contiki للعقد من أجل تشكيل الشبكة وتشغيلها وفق الظروف والبيئة الموجودة.

أنجزنا محاكاة الشبكة وفق سيناريوين واحد لكل من تابعي الغرض لدراسة تأثير زيادة العقد على أداء التابعين وتبيان المقارنة بينهما وفق البيانات المحصلة لحمل رسائل التحكم واستهلاك الطاقة.

حيث تبين أنه مع زيادة عدد العقد في الشبكة من أجل الحالات الثلاث (15 - 25 - 35) عقدة، يكون حمل رسائل التحكم من أجل تابع الغرض MRHOF أكبر منه من أجل تابع الغرض OF_0 حتى يصل إلى فارق بنسبة 33.7% من أجل 35 عقدة في الشبكة، ومن ناحية معدل عمر البطارية للعقد فإن تابع الغرض OF_0 يحقق عمر أطول بنسبة 22.5%(حوالي شهر) منه في حالة التابع MRHOF من أجل 35 عقدة. نستنتج من ذلك أن بروتوكول التوجيه RPL يحقق استهلاك أقل للموارد عند تطبيقه لتابع الغرض OF_0 منه عند تطبيقه لتابع الغرض MRHOF.

التوصيات:

نقترح العمل على تحسين خوارزمية تابع الغرض MRHOF بحيث تحقق استهلاك أقل للطاقة وحمل رسائل تحكم أقل، وذلك كونها أفضل من ناحية بناء الشبكة ومتابعتها للتغيرات في جودة الوصلات اللاسلكية.

المراجع:

- [1] - م.زينة محمد، 2019، تصميم وتحليل أداء شبكة حساسات لاسلكية لمراقبة الإشارات الحيوية. مجلة جامعة طرطوس للعلوم الهندسية، سوريا، صفحة 21.
- [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]- د. ناجي محمد، 2019، تقييم تأثير الازدحام على أداء بروتوكول IEEE 802.15.4 كتابع لمجال التحسس، مجلة جامعة طرطوس للعلوم الهندسية، سوريا، صفحة 18.
- [4]- م. محمد عمران، 2019، تحسين استهلاك الطاقة في شبكات الحساسات اللاسلكية المستخدمة في مراقبة خطوط النفط والغاز تحت الماء، مجلة جامعة طرطوس للعلوم الهندسية، سوريا، صفحة 17.

- [5]- Gozauak,N. and Oktug,S.2015, *Parent-Aware Routing for IoT Networks*, NEW2AN, computer science.
- [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) page (1-6) . <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]- Vasseur, Ed. 2012, *Routing Metrics Used for Path Calculation in Low-Power and Lossy Networks*. Rfc 6551 RPL, Internet Engineering Task Force (IETF).
- [9]- Sesli,E, Hacıoğlu,G. 2017, *Contiki OS Usage in Wireless Sensor Networks (WSNs)*. Turkish Journal of Electromechanics & Energy, Turk J Electrom Energ Vol.: 2 No: 2 Page: 1-6.
- [10]- Charalambos,M. 2014, *CoAP-enabled Sensors for the Internet-of-Things*. TECHNOLOGICAL EDUCATIONAL INSTITUTE OF CRETE Department of Applied Informatics & Multimedia," Crete.
- [11]- P. Thubert, Ed. "*Objective Function Zero for the Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks (RPL)*" rfc6552, Internet Engineering Task Force (IETF) Cisco Systems March 2012 .
- [12]- Gnawali.O and Levis.P. 2010 "*The ETX Objective Function for RPL*" Working Draft, IETF Secretariat, Internet-Draft draft-gnawali-roll-etxof-00, [Online]. Available: <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-gnawali-roll-etxof-00>
- [13]- د.غسان محمد، د.ناجي محمد، م.مجد علي، 2021. تصميم وتطوير نموذج شبكة حساسات لاسلكية خاص بالمباني الذكية باستخدام تقنية انترنت الأشياء *IoT*. رسالة ماجستير، كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات، قسم هندسة تكنولوجيا الاتصالات، جامعة طرطوس، سوريا، صفحة 73.
- [14]- Son,N,H and Quyet,H,C. 2015, *Design, Implementation, and Evaluation of 6LoWPAN for Home and Building Automation in the Internet of Things*. 978-1-5090-0478-2/15/\$31.00, IEEE.