

دراسة تأثير توابع الغرض لبروتوكول التوجيه RPL على بارامترات تصميم شبكة الحساسات اللاسلكية

- د. غسان محمد*
د. ناجي محمد**
م. مجد علي***

(تاريخ الإيداع 2020/ 6/10. قُبل للنشر في 2020/ 9/ 2)

□ ملخص □

تحتل الشبكات الحاسوبية والانترنت الحيز الأكبر من نطاق التكنولوجيا في العالم، ومع انطلاق نوع جديد من الشبكات المخدمة للمعلومات وهي شبكات الحساسات اللاسلكية كان لا بد من تكاملها مع الانترنت، ومن هنا يبرز دور التقنية الواعدة انترنت الأشياء وتوظيفها لشبكات الحساسات اللاسلكية في العديد من التطبيقات كان منها الأبنية الذكية، حيث أن تصميم شبكة نموذجية لمجموعة من الحساسات اللاسلكية ضمن المبنى له دور هام وأساسي في توظيف أهم الخدمات التي يقدمها انترنت الأشياء، من مراقبة وتحكم في الموارد وترشيد استهلاك الطاقة ومراقبة وتنظيم الحضور ومشغولية الأماكن وتكامل للأنظمة الأمنية.

يتضمن البحث تطبيق توابع الغرض (Objective function) الخاصة بروتوكول التوجيه RPL المستخدم في شبكات انترنت الأشياء، وذلك بهدف تشكيل مخططات المسارات المناسبة لكل سيناريو تصميم، وتحقيق أقل استهلاك ممكن للاستطاعة.

يقدم تابع الغرض OF0 أداء أفضل عند تواجد عقدة المصب (sink node) في منتصف الشبكة، بينما يقدم التابع MRHOF أداء أفضل عند تواجد الجذر في طرف الشبكة نفسها وفق البنية التحتية الأساسية المتاحة.

كلمات مفتاحية: انترنت الأشياء، بروتوكول التوجيه، تابع الغرض، شبكات الحساسات اللاسلكية.

* أستاذ مساعد في كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات – قسم هندسة تكنولوجيا الاتصالات- جامعة طرطوس
** مدرس في كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات – قسم هندسة تكنولوجيا الاتصالات- جامعة طرطوس
*** طالب دراسات عليا في كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات – قسم هندسة تكنولوجيا الاتصالات- جامعة طرطوس

Studying the effect of the objective functions of RPL Routing Protocol on the design of parameters of wireless sensor network

Dr. Gasan Mohammad*

Dr. Naji Mohammad**

Eng. Majd Ali***

(Received 10/6/2020. Accepted 2/ 9/2020)

□ ABSTRACT □

Computer networks and internet occupy the largest area of technology in the world due to their great importance and their role in providing many facilities and services, most notably the Internet. with the launch of a new type of networks that serve informations, wireless sensor networks had to be integrated with the Internet to enter the field of global networks and here emerges the role of promising technology Internet of Things and which employs wireless sensor networks in many applications, including smart buildings, The range of wireless sensors within the building has an important and essential role in the employment of the most important services provided by the Internet of things, of control and control of resources and rationalization of energy consumption, control and organization of attendance and occupancy and integration of security systems.

The research include the application of the objective functions of the routing protocol RPL used, with the aim of building the appropriate path graphes for each scenario and achieving as least as possible power consumption.

OFO offers better performance when the root exists in the middle of the network, While MRHOF offers better performance when the root exists in the edge of the same network according to the main available infrastructure.

Key words: IoT, Routing Protocol, Objective function, Wireless Sensor Network (WSN).

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

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

***Master student, Communication Technology Engineering Department, Information and communication Technology Engineering , Tartous University

مقدمة:

إن الحاجة المستمرة والمتزايدة للوصول الى خدمات الانترنت أضافت الى الشبكة العالمية بوابات جديدة الى عالم المعطيات والبيانات، وكان أبرزها تحصيل البيانات من شبكات الحساسات اللاسلكية [1] الموظفة في مختلف البيئات، وكان لتقنية انترنت الأشياء [2] الدور الأبرز في تحقيق الربط الفعال على الانترنت لشبكات الحساسات اللاسلكية المعتمدة على المعيار IEEE 802.15.4 [3]، من أجل تمكين المراقبة والتحكم [4] في العديد من الأشياء التي أصبحت متصلة على الانترنت، مثلا في تطبيقات الأبنية الذكية أصبح من الممكن تحقيق تكامل لأنظمة المراقبة والأنظمة الأمنية وأنظمة التحكم بالدخول وأنظمة التكييف والتبريد وغيرها العديد.. وفي اطار تنفيذ التقنية بالشكل الفعال كان للتصميم الشبكي أهمية كبيرة في تحقيق الاتصالات الفعالة بين العقد، من ناحية نقل البيانات وتوجيهها والحفاظ على استمرارية عمل الشبكة والموثوقية والسلامة والأمان، وهنا يأتي دور بروتوكولات انترنت الأشياء في تحقيق التصميم المناسب لكل بيئة وفق حاجات التطبيق.

1- الغاية من البحث:

التعريف ببروتوكول التشبيك لانترنت الأشياء ودراسة وتحليل توابع الغرض للوصول الى تابع الغرض المناسب لكل سيناريو مدروس.

2- طريقة البحث وأساليبه:

1-2- بروتوكول التوجيه RPL (Routing Protocol for Low power and Lossy networks):

هو بروتوكول توجيه مصدر وشعاع مسافة مصمم للعمل على طبقات وصلات متنوعة مثل IEEE 802.15.4 PHY و MAC، ويستهدف الشبكات المعتمدة على التجميع حيث تقوم العقد بالإرسال الدوري للقياسات الى نقطة تجميع محددة حيث تصنف ضمن اتصالات عدة نقط الى نقطة واحدة وأيضا تدعم اتصالات نقطة الى عدة نقاط وكذلك نقطة الى نقطة [5].

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

إن بروتوكول RPL يعتمد على مفهوم الطوبولوجيا لـ (DAGs Direct Acyclic Graphs) حيث يمثل بنية شجرية تحدد المسارات الافتراضية بين العقد في شبكة (Low power and Lossy LLN Network). بشكل مخصص أكثر فإن RPL ينظم العقد في مخطط (Destination-Oriented DAGs) حيث أن أكثر عقد الوجهة انتشار مثل المصب (Sink node) أو التي تؤمن مسار افتراضي الى الانترنت (Gateway) تمثل جذر (Root) هذه الشجرة.

تصنف العقد حسب بروتوكول RPL الى:

➤ الموجهات الطرفية ذات الفقد ومنخفضة الاستطاعة (LBRs):

تمثل جذر مخطط (Root of DODAG) ونقطة تجميع الشبكة (Sink node) وتملك إمكانية بناء

شجرة DAG، وكذلك يعمل كبوابة ليوصل شبكة LLN الى 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 آخر الشجرة وتدعى أوراق (leaf) تقوم فقط بتوليد البيانات.

تحدد كل عقدة في الشبكة برتبة أو صف (Rank) وهو عدد صحيح يمثل موقع العقدة بالنسبة لباقي العقد من وجهة نظر جذر الشبكة (DODAG root). إن قيمة الصف تتزايد بالابتعاد عن الجذر وبالعكس عند الاقتراب منه وبالتالي أصغر قيمة رتبة تتمثل بجذر الشبكة.

إن الفائدة من استخدام الرتبة تكمن في تجنب الحلقات في شبكة RPL وتسمح للعقد بالتمييز بين الأباء والعقد الأخوة (المجاورة)، إن بروتوكول RPL يتيح للعقد بأن تخزن قائمة بأسماء العقد المرشحة لتكون الأباء وأسماء العقد المجاورة حيث يمكن استخدامها في حال فقدت العقدة إمكانية التوجيه.[5]

أثناء عملية تشكيل طبولوجيا الشبكة كل موجه يحدد مجموعة مستقرة من العقد الأباء في سبيل إنشاء مسار باتجاه الجذر ويختار الأب المفضل، حيث يتم اختياره بالاعتماد على تابع الغرض (Objective function).

إن تابع الغرض يحدد كيف يمكن للعقد أن تترجم واحدة أو أكثر من المقاييس (Metrics) إلى صفوف (Rank) 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 الارسلات المحتمل لرزمة على وصلة محددة (Expected Retransmissions)، عدد القفزات (Hop count)).[7]

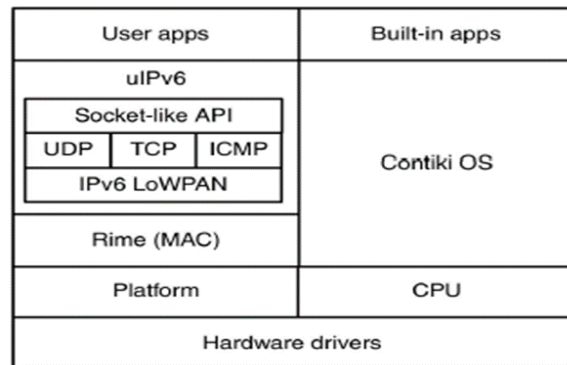
إن المسار من عقدة محددة إلى جذر (DODAG) يحدد بأصغر مجموع ل ETX من بين المسارات المتاحة.

3-1- نظام التشغيل Contiki

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

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 ل Contiki توفير اتصال عبر IPv4 و IPv6 و Rime و Network Stack [8].

يبين الشكل (1) بنية نظام التشغيل وعناصره بما يتوافق مع نموذج طبقات التشبيك.



الشكل (1) بنية وعناصر نظام التشغيل Contiki

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. COOJA قادر أيضا على محاكاة العقد غير التابعة لـ Contiki ، مثل العقد المنفذة في Java أو حتى العقد التي تشغل في نظام تشغيل آخر. [9]

4- تصميم الشبكة وتحليلها:

التصميم الشبكي:

سنقوم بمحاكاة سيناريوين لتصميم الشبكة في كل سيناريو سنستخدم تابعي غرض (OF0) و (MRHOF). خاصين ببروتوكول RPL المسؤول عن تشكيل الشبكة عن طريق مخطط DODAG . Objective Function 0 (OF0): تابع الغرض الأساسي الذي لا يحتاج إلى أي مقاييس لكي يُحسب حيث يستخدم الاعدادات الافتراضية لكي يصل الى تخفيض قيمة عدد القفزات (Hop count) [10]. وبالتالي يقوم بحساب المسارات بناءً على عدد القفزات الأقل لكل مسار باتجاه عقدة الجذر (Root). • يقوم تابع الغرض المذكور بحساب صف العقدة وفق التالي:

إذا كان الصف القاعدي $base_R = 0$ والعقدة لا تمتلك أي عقدة أب تكون قيمة الصف لانتهائية $Infinite_R$

إذا كان للعقدة الحالية عقدة أب فإن قيمة الصف تساوي:

$$Node_R = base_R + min_hoprankinc \quad (1)$$

حيث $base_R$ قيمة الصف للعقدة الأب و $min_hoprankinc$ الزيادة الافتراضية في قيمة الصف. • ثم يقوم تابع الغرض بحساب الأب المفضل لكل عقدة (Preferred parent) وفق التالي:

على فرض المقارنة بين عقدتين لتكون احدهما عقدة الأب المفضل يقوم التابع بتحديد كلفة لكل عقدة وفق التالي:

$$P_n = Node_n_R * min_hoprankinc + P_n_Link_metric \quad (2)$$

حيث P_n كلفة العقدة الأب n ، $n = (1,2)$ ، $Node_n_R$ قيمة الصف للعقدة الأب n ، $P_n_Link_metric$ مقياس الوصلة للعقدة الأب n مع العقدة الحالية وهنا تحدد بعدد القفزات عن العقدة الجذر Hop_count

• وأخيرا يقارن تابع الغرض بين كلفتي العقدتين ويختار العقدة الأب ذات الكلفة الأقل لتكون

العقدة الأب المفضلة للعقدة الحالية

(Minimum Rank with Hystersis Objective Function) MRHOF:

يعمل تابع الغرض هذا على إيجاد المسارات ذات الكلفة الأقل بحيث يقلل الحمل في الشبكة، ويستخدم ETX كمقياس توجيهه، يقوم بذلك عن طريق تقنيتين:

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

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

بالتالي يقوم هذا التابع باختيار المسار لكل عقدة باتجاه عقدة الجذر (Root) والمؤلف من وصلات ذات عدد ارسالات محتمل (ETX) أقل بعتبة معينة.

لكي يعمل تابع الغرض يجب على العقد أن تدعم مقياس ETX وعلى الأقل المقاييس Hop count, Latency [11].

• يقوم تابع الغرض MRHOF بحساب صف العقدة بنفس طريقة تابع الغرض السابق لكن هنا يكون قيمة الزيادة الافتراضية للصف وفق التالي:

$$\text{rank_increase} = \text{Link_metric} * \text{ETX_Div} \quad (3)$$

حيث ETX_Div قيمة الزيادة في عدد محاولات إعادة الإرسال للعقد الموجودة في كل صف في مخطط DODAG للشبكة.

• تحديد كلفة كل عقدة أب مرشحة للعقدة الحالية وفق المعادلة (2) مع الأخذ بعين الاعتبار أن

$$P_n\text{Link_metric} = \text{ETX}_n$$

• يقارن تابع الغرض بين كلفتي كل من العقدتين المرشحتين ويختار العقدة ذات الكلفة الأقل بعتبة

محددة وفق المعادلة التالية:

$$\text{Min_diff} = \text{ETX_Div} / \text{PSTDiv} \quad (4)$$

حيث أن Min_diff قيمة العتبة، PSTDiv قيمة التحويل الخاصة بالعقد الموجودة في كل صف من

مخطط DODAG.

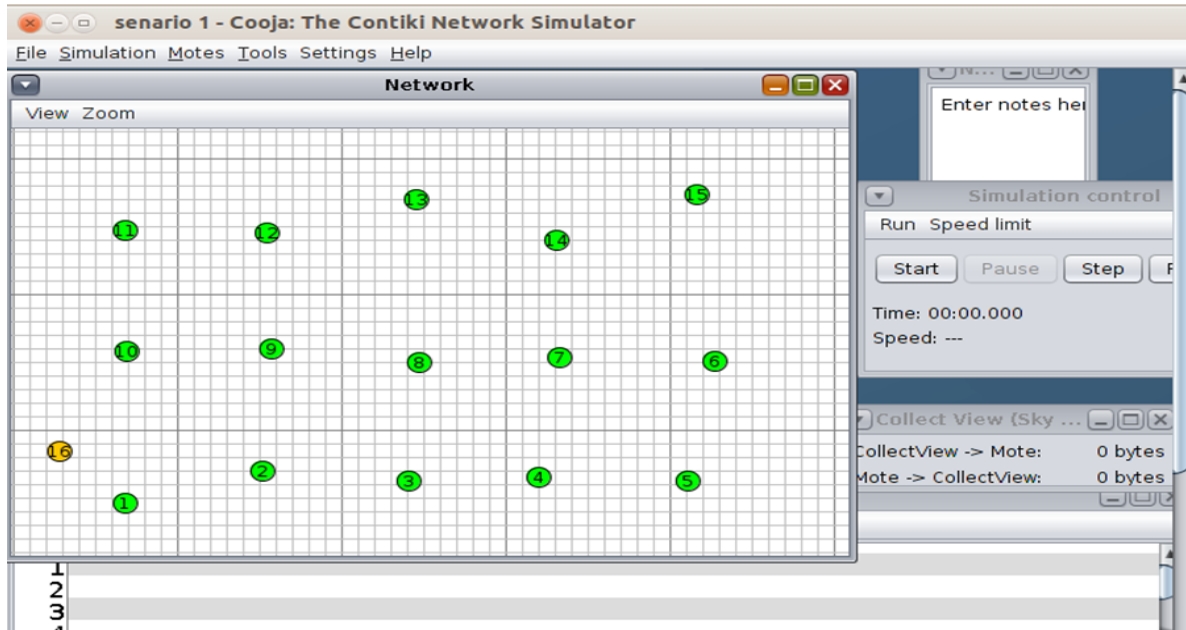
سيتم بناء التصميم وتنفيذ المحاكاة باستخدام محاكي الشبكات Cooja المضمن في نظام التشغيل Contiki الخاص بتقنية انترنت الأشياء والذي يؤمن أدوات متعددة وفعالة في تشكيل الشبكة والتحكم بالمحاكاة وتحصيل المعطيات. حيث سيحاكي التصميم بناء شبكة حساسات لاسلكية مضافة للبنية التحتية الأساسية المتاحة في مبني متضمنة مكان وجود المخدم وبوابة الانترنت وتوزع أماكن المراقبة وتحصيل المعطيات وتم توزيع عقد الحساسات يدويا (عقدة في كل غرفة حيث تتمثل كل غرفة بمربع في مساحة الشبكة للمحاكي) بحيث يتم ضمان التغطية للاتصال متعدد القفزات .

السيناريو الأول:

تم تشكيل شبكة من 15 عقدة حساس يوجد فيها الجذر (Root) في طرف الشبكة.

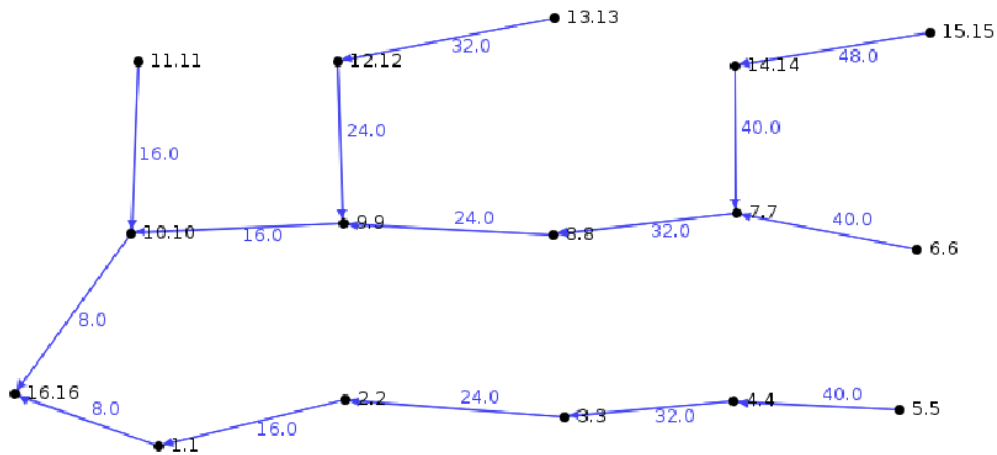
نفترض أننا نشرنا العقد ضمن مبني مكون من 3 طوابق في كل طابق 5 عقد ويوجد الجذر (عقدة المصب) في طرف الطابق الأول باعتبار غرفة البيانات والتجهيزات المتضمنة المخدم وبوابة الانترنت موجودة في هذا المكان، حيث يتم مراعاة البنية التحتية لشبكة حاسوبية موجودة.

سنشكل الشبكة من عناصر التحسس المطلوبة.



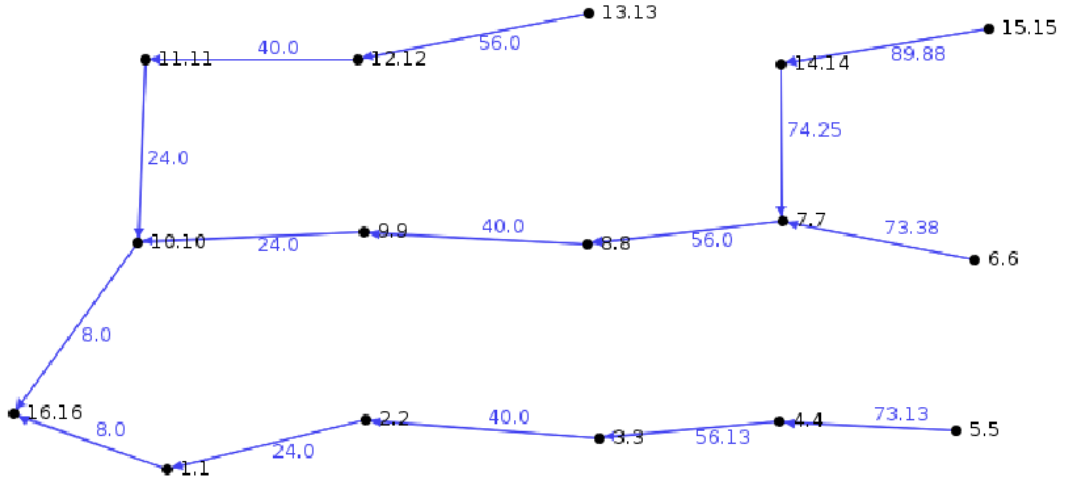
الشكل (3) تشكيل شبكة السيناريو الأول، العقدة 16 عقدة الجذر

نتائج تحليل الشبكة وفق السيناريو الأول والمناقشة: بتطبيق تابع الغرض OF0 يتم تكوين مخطط DODAG وفق الشكل التالي، الذي يمثل تشكيل المسارات حيث العقدة 16 عقدة الجذر ، الرقم على المسار يمثل قيمة الـ ETX.



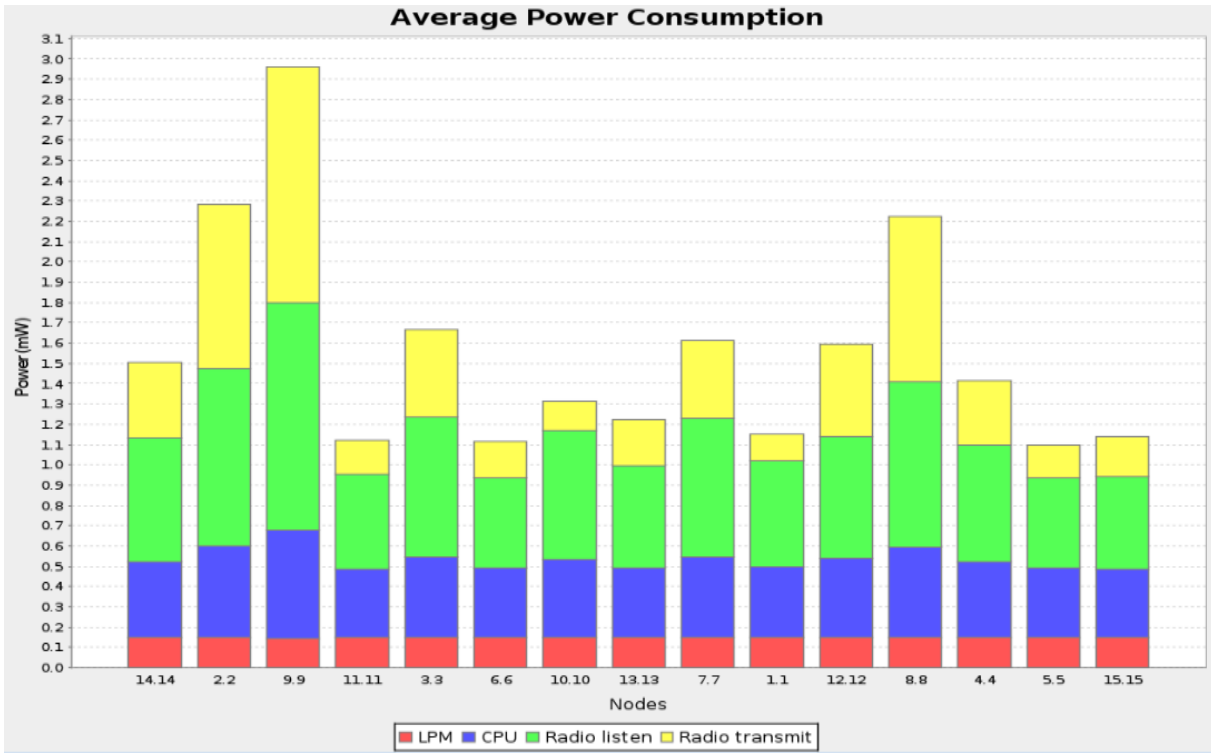
الشكل (4) يمثل مخطط DODAG وفقاً لتابع الغرض OF0 للسيناريو الأول

وتطبيق تابع الغرض MRHOF يتشكل مخطط DODAG وفق التالي:

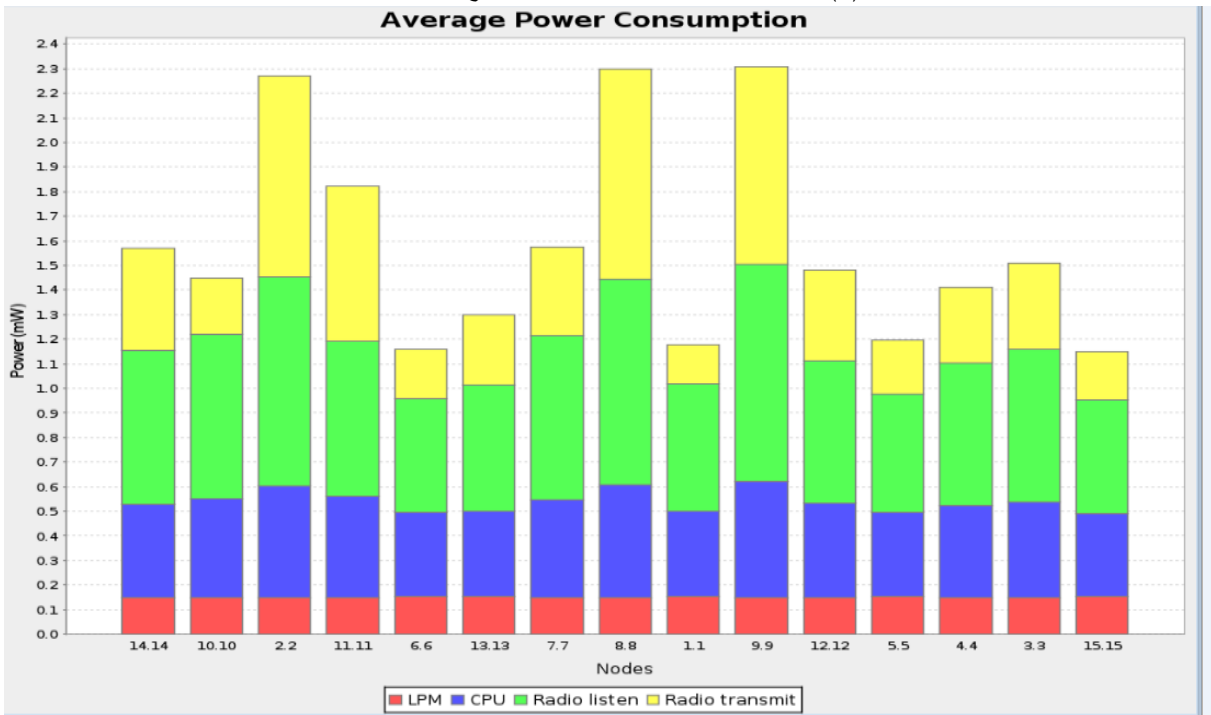


الشكل (5) مخطط DODAG وفقاً لتابع الغرض MRHOF

يتبين أن تشكيل مسارات الشبكة في تابع الغرض MRHOF أفضل حيث تم تخفيف الحمل عن العقدة 9 وبالتالي يصبح استهلاكها للطاقة أقل. لأن تابع الغرض MRHOF يأخذ بعين الاعتبار المقياس ETX ولا يحول الى المسار ذو القيمة الأقل لـ ETX إلا إذا كان أقصر من عتبة معينة وهنا هو نفس الطول عن الجذر. استناداً إلى آلية عمل تابع الغرض فإن القيم الموجودة على المسارات في المخطط الناتج عن تطبيق تابع الغرض OF0 مختلفة عن القيم في المخطط الناتج عن تطبيق تابع الغرض MRHOF لأن تابع الغرض الأخير يأخذ بعين الاعتبار ETX كمقياس بينما تابع الغرض OF0 لا يستخدمها في تشكيل المسارات. وبتحصيل بيانات الاستطاعة المستهلكة:



الشكل (6) متوسط استهلاك الاستطاعة بتطبيق تابع الغرض OF0

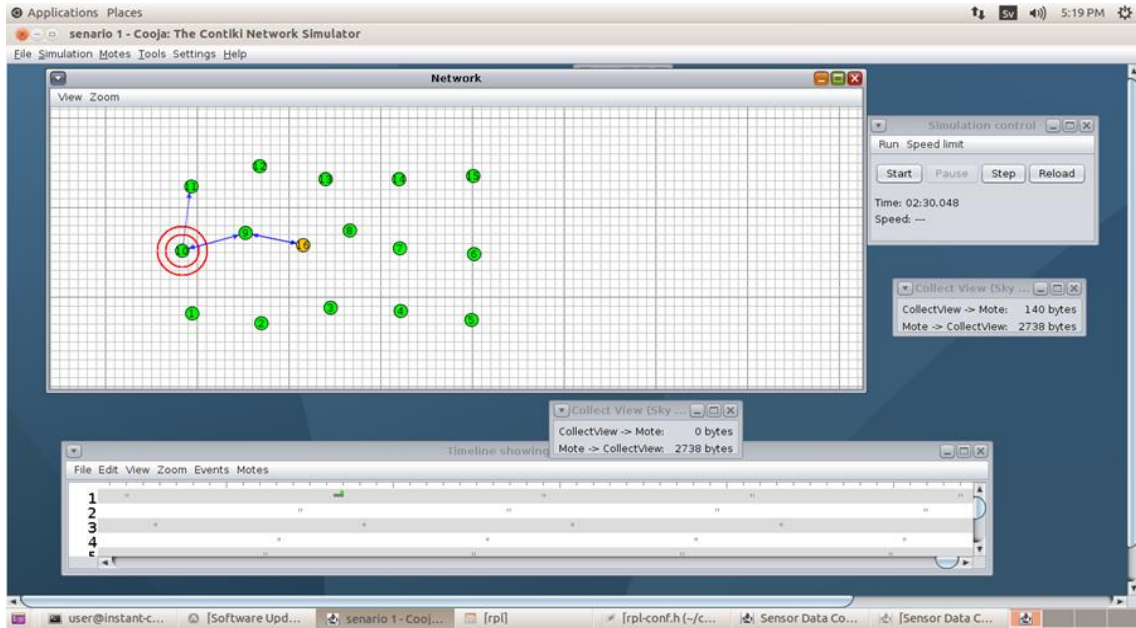


الشكل (7) متوسط استهلاك الاستطاعة بتطبيق تابع الغرض MRHOF

يتبين أن أكبر استهلاك للاستطاعة عند تطبيق تابع الغرض Of0 متركز في العقدة 9 وبقيمة تصل الى 3 واط بينما يتوزع الاستهلاك الأعظمي عند تطبيق MRHOF على ثلاث عقد 2 و 9 و 8 وخاصة من ناحية الإرسال والاستماع إلى الوسط وذلك من أجل نفس مدة المحاكاة (150 s). حيث تبين لنا من مخطط المسارات أن تابع الغرض OF0 يطبق حمل إضافي على العقدة 9 مما يزيد من استهلاكه للاستطاعة، بالتالي يحقق MRHOF استهلاك استطاعة أقل من OF0.

السيناريو الثاني:

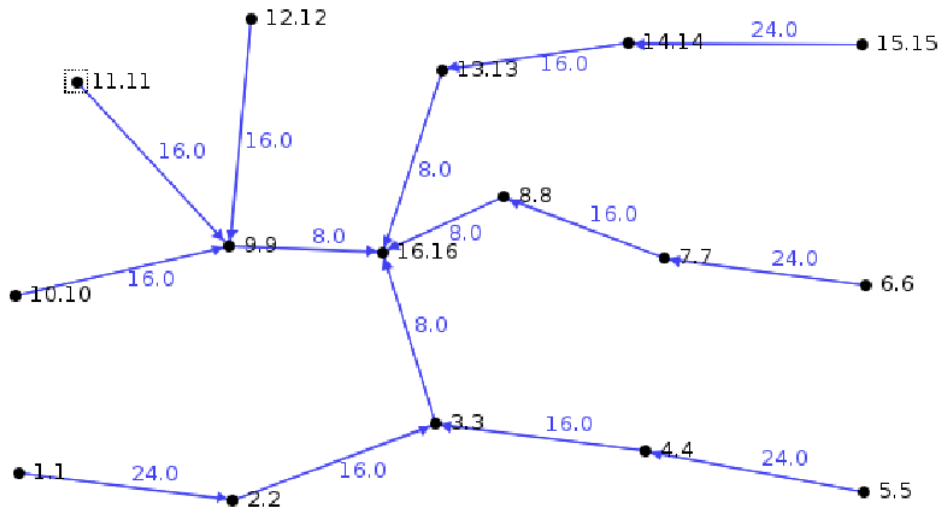
شبكة مكونة من 15 عقدة حساس يوجد فيها الجذر (Root) في منتصف الشبكة. على فرض أن البناء مكون من ثلاثة طوابق كل طابق يحوي 5 عقد يكون الجذر في منتصف الطابق الثاني باعتبار غرفة البيانات المتضمنة المخدم وبوابة الانترنت موجودة في هذا المكان. وهنا بتغيير موقع جذر الشبكة (Sink node) يتغير عندنا تشكيل مخطط الشبكة (DODAG) ويتبين تابع الغرض المناسب لتوزع الجديد وفق مقارنة النتائج المحصلة من تطبيق تابعي الغرض. يبين الشكل التالي مخطط شبكة الحساسات وفق برنامج المحاكاة:



الشكل (8) تشكيل شبكة السيناريو الثاني

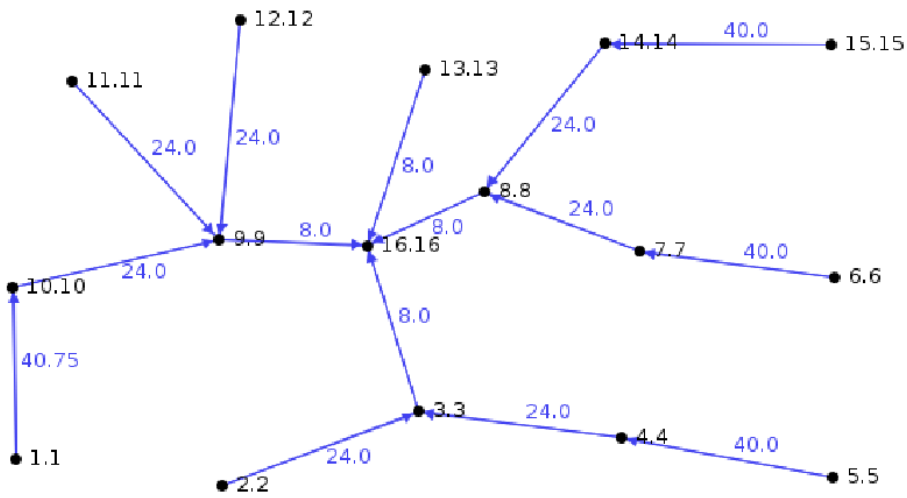
نتائج تحليل الشبكة وفق السيناريو الثاني والمناقشة:

بتطبيق تابع الغرض OF0 نلاحظ تشكل مخطط DODAG الذي يمثل المسارات في الشبكة وفق التالي:



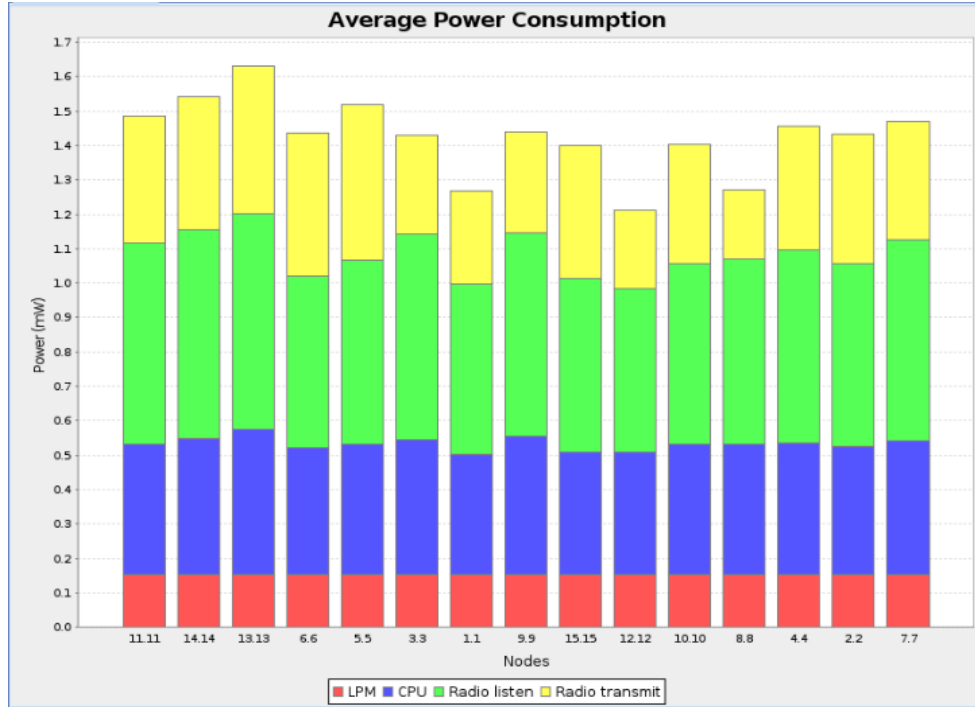
الشكل (10) مخطط DODAG لتابع الغرض OF0

و بتطبيق تابع الغرض MRHOF نلاحظ تشكل مخطط DODAG وفق التالي:

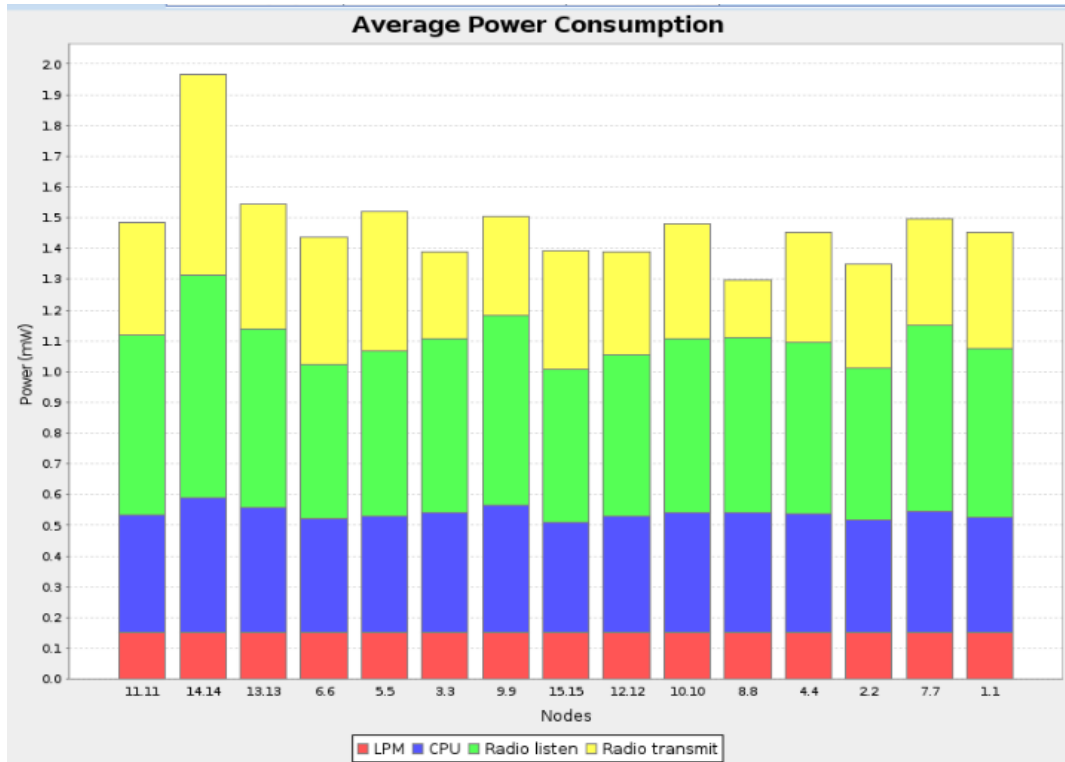


الشكل (11) مخطط DODAG من أجل تابع الغرض MRHOF

يتبين أن تابع الغرض OF0 يقدم تشكيل مسارات أفضل حيث يفرض MRHOF حمل زائد على العقدة 8 كما يطول المسار من العقدة 1 الى العقدة الجذر 16، حيث يعتمد تابع الغرض على التحويل الى المسار الأقصر بعنبة معينة عندما يحقق قيم ETX أدنى. وتظهر الأشكال التالية بيانات استهلاك الاستطاعة:



الشكل (12) متوسط استهلاك الاستطاعة من أجل OF0



الشكل (13) متوسط استهلاك الاستطاعة من أجل MRHOF

يتبين هنا أن متوسط استهلاك الاستطاعة في تابع الغرض OF0 أقل منه في تابع الغرض MRHOF حيث لا يتجاوز 1.7 mW لأكثر استهلاك بين العقد ومع مستويات متقاربة، بينما يتجاوز 1.9 mW في MRHOF وذلك من أجل نفس مدة المحاكاة (150 s). حيث نلاحظ ارتفاع ملحوظ لاستهلاك الاستطاعة في العقدة 14 كونها تقوم بإجراء معالجة وحساب للمسار وفق خوارزمية تابع الغرض MRHOF من أجل تحويله إلى العقدة 8.

الخلاصة

تم في هذه المقالة استعراض أهم بروتوكول التشبيك في انترنت الأشياء وكيفية تحقيق التصميم الشبكي عن طريقه والذي يستخدم أحد تابعي الغرض الموظفين في نظام التشغيل للعقد من أجل تشكيل الشبكة وتشغيلها وفق الظروف والبيئة الموجودة.

وتم إنجاز محاكاة الشبكة وفق سيناريوين واحد لكل من تابعي الغرض وتبيان المقارنة بينهما وفق البيانات المحصلة لتشكيل المسارات واستهلاك الاستطاعة.

يظهر السيناريو الأول (موقع الجذر في طرف الشبكة) أن تابع الغرض MRHOF يقدم أداء أفضل وفق البنية التحتية الأساسية المتاحة وذلك من ناحية تشكيل المسارات في الشبكة حيث تم تخفيف الحمل على العقدة 9 بالمقارنة مع تابع الغرض OF0 وكذلك يقدم استهلاك استطاعة أقل.

كما يظهر السيناريو الثاني (موقع الجذر في منتصف الشبكة) أن تابع الغرض OF0 يقدم أداء أفضل من ناحية تشكيل المسارات في الشبكة حيث تم تخفيف الحمل عن العقدة 8 بالمقارنة مع تابع الغرض MRHOF وكذلك قدم استهلاك استطاعة أقل حيث أصبح عدد القفزات للعقد البعيدة عن عقدة الجذر أقل منها في حالة تموضع عقدة الجذر في طرف الشبكة.

بالتالي نقترح تطبيق تابع الغرض MRHOF في الشبكات التي يكون فيها الجذر (Root Node) في طرف الشبكة كما في شبكات الأبنية التي تأخذ تصميم طولي وتكون غرفة المخدم الأساسي وتجهيزات الربط الشبكي موجودة في طرف المبنى. وتطبيق تابع الغرض OF0 في الشبكات التي يكون فيها الجذر (Root Node) في منتصف الشبكة كما في الأبنية التي تتواجد فيها غرفة المخدم الأساسي في منتصف المبنى تقريبا، وذلك من أجل عدد ليس كبير من عقد الحساسات (لا يتجاوز 15 عقدة حساس كما في الدراسة).

مستقبلا نقترح العمل على انشاء تابع غرض جديد خاص بتطبيق التوجيه على شبكات الحساسات اللاسلكية المصممة في بيئات المباني الذكية حيث يلبي احتياجات التطبيق في كلا السيناريوين وحيث يمكنه توظيف مقياسي (ETX) و عدد القفزات (Hop Count) للحصول على مقياس مشترك يحقق نتائج أفضل في كلا السيناريوين .

المراجع:

- [1] - م.زينة محمد. 2019، تصميم وتحليل أداء شبكة حساسات لاسلكية لمراقبة الإشارات الحيوية. مجلة جامعة طرطوس للعلوم الهندسية، سوريا، 21 صفحة.
- [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 عمى أداء بروتوكول IEEE 802.15.4 كتابع لمجال التحسس، مجلة جامعة طرطوس للعلوم الهندسية، سوريا، 18 صفحة.
- [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، 17 صفحة.
- [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 , *Rfc6550 RPL, Internet Engineering Task Force (IETF)*, T. Winter, Ed.
- [8]- 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.
- [9]- Charalambos,M. 2014, *CoAP-enabled Sensors for the Internet-of-Things*. TECHNOLOGICAL EDUCATIONAL INSTITUTE OF CRETE Department of Applied Informatics & Multimedia," Crete.
- [10]- Thubert, P,Ed. 2012, *Objective Function Zero for the rfc6552, Internet Engineering Task Force (IETF) Low-Power and Lossy Networks (RPL)*. Cisco Systems.
- [11]- Gnawali ,O. 2012, *The Minimum Rank with Hysteresis Objective Function*. rfc6719 Internet Engineering Task Force IETF , Stanford University.