University of Mosul
College of Computer Science
and Mathematics

Real-time Routing in IoT for Delivery and Fault Tolerance

Mohammed Tariq Salih Al-Asaly

M.Sc. / Thesis

Computer Science

Supervised by

Prof. Dr. Dhuha Basheer Abdullah Albazaz

2022 A.D 1443 A.H.

Abstract

The Internet of Things (IoT) is a fastly growing network of connected things and people that utilize sensors and actuators to collect and share data. Most of the IoT applications are real-time applications that are meant for monitoring critical cases that require timing, reliability, and accuracy, and data delivery for example in fire detection, smoke detection, health monitoring, intrusion detection applications, where a delay or jitter in the network delivery is not acceptable. These applications would impose further challenges and the need for specialized standards and communication protocols to handle the strict delivery deadline and diversity of application requirements.

In this Thesis, a novel routing protocol that can meet the criteria of real-time applications in IoT networks is developed. As the current well-known and most common efficient routing protocol for IoT is the Routing Protocol for Low power and lossy networks (RPL), the proposed solution is based on modifying and adding to it to make it perform better in satisfying the real-time requirements while keeping all the good futures of RPL. Consideration was taken to keeping the protocol light-weighted to avoid causing overhead on the constrained IoT devices and consuming extra time or power.

The proposed Real-Time RPL Protocol (RT-RPL) is designed as a multi-step, cross-layers routing solution for real-time applications in IoT networks. The first step is the classification of network traffic based on the traffic requirements into three types of traffic, hard real-time where delay and reliability are of value, soft real-time with reliability and some degree of delay tolerance, and non-real-time with no constraints, to be handled differently in order to meet the different criteria. In the second step, a new Objective Function (OF) was designed for each type of traffic, by combining multiple metrics in each OF, the new OFs are used in the Destination-

Oriented Directed Acyclic Graphs (DODAG) build process for parent selection, where a multi-topology approach was used to build three RPL Instants for each DODA, one for each traffic type. In this way, the route selection is based on the criteria of each traffic type. In each device, a three-headed virtual queue was utilized to separate the different traffic types and give different transmission and packet drop priority for each traffic type. Finally, different packet scheduling algorithms are used for scheduling the packets in each queue, and between the three queues.

Cooja simulator under Contiki Operating System (Contiki OS) was used to implement the new protocol with many scenarios and setups. A comprehensive and comparative result analysis was carried out. In general, all tested metrics showed that the proposed RT-RPL protocol can offer much better and more stable results under high traffic and large-scale networks, with different link quality compared to the default RPL protocol. The result also showed that for hard real-time traffic, the performance of RT-RPL was stable and the effect of traffic load and scalability is barely affected it, as the end-to-end delay of hard real-time with minimized and the reliability for both real-time types of traffic was maximized in the form of higher Packet Delivery Ratio (PDR) and lower packet loss rate under different network conditions. Even for the non-real-time traffic, RT-RPL showed a big rise in performance compared to the original RPL. Additionally, the Overhead of the novel protocol was analyzed and the results show that RT-RPL has lower control overhead than RPL with an extended network lifetime.

كلية علوم الحاسوب والرياضيات

التوجيه في الزمن الحقيقي لأنترنيت الاشياء للتسليم وتجاوز الأخطاء

محمد طارق صالح العسلي

رسالة ماجستير

علوم الحاسوب

بإشراف

الاستاذ الدكتور ضحى بشير عبدالله البزاز

1443هـ 2022م

الملخص

إن إنترنت الأشياء (IoT) عبارة عن شبكة سريعة النمو من الأشياء المتصلة والأشخاص الذين يستخدمون أجهزة الاستشعار والمشغلات لجمع البيانات ومشاركتها. معظم تطبيقات إنترنت الأشياء هي تطبيقات في الوقت الحقيقي تهدف إلى مراقبة الحالات الحرجة التي تتطلب التوقيت والموثوقية والدقة، وتسليم البيانات على سبيل المثال في الكشف عن الحرائق، وكشف الدخان، والمراقبة الصحية، وتطبيقات اكتشاف التسلل، حيث وجود تأخير أو تذبذب في توصيل عبر الشبكة أمر غير مقبول. ستفرض هذه التطبيقات مزيدًا من التحديات والحاجة إلى معايير متخصصة وبروتوكولات اتصال للتعامل مع الموعد النهائي الصارم للتسليم وتنوع متطلبات التطبيق.

تم تطوير بروتوكول توجيه جديد يمكنه تلبية معايير تطبيقات الوقت الفعلي في شبكات إنترنت الأشياء في هذه الرسالة. نظرًا لأن بروتوكول التوجيه الحالي المعروف والأكثر شيوعًا لـ شبكة الأشياء هو RPL، فإن الحل المقترح يعتمد على التعديل والإضافة إليه لجعله يعمل بشكل أفضل في تلبية متطلبات الوقت الحقيقي مع الحفاظ على جميع المميزات الجيدة لبرتوكول RPL، تم الأخذ في عين الاعتبار الحفاظ على البروتوكول خفيف الوزن لتجنب التسبب في زيادة الحمل على أجهزة إنترنت الأشياء المقيدة المصادر واستهلاك المزيد من الوقت أو الطاقة.

تم تصميم بروتوكول RPL المقترح في الوقت الحقيقي (RT-RPL) كحل توجيه متعدد الخطوات متعدد الطبقات لتطبيقات الوقت الفعلي في شبكات إنترنت الأشياء. تتمثل الخطوة الأولى في تصنيف الحزم المارة عبر الشبكة استنادًا إلى متطلبات حركة المرور إلى ثلاثة أنواع من المرور، المرور في الوقت الحقيقي الصارم حيث يكون الأهمية للتأخير والموثوقية، ومرور الوقت الحقيقي المرن بالتأكد من الموثوقية مع مرونة في التأخير، ومرور الحزم دون متطلبات الزمن الحقيقي والتي تكون بلا متطلبات او قيود، ليتم التعامل معها بشكل مختلف من أجل تلبية المعايير المختلفة. في الخطوة الثانية، تم تصميم دالة هدف OF جديدة لكل نوع من أنواع حركة المرور، من خلال الجمع بين مقاييس متعددة في كل OF، يتم استخدام OFs الجديدة في عملية بناء DODAG لاختيار الوالدين، حيث يتم استخدام نهج متعدد الهياكل لبناء ثلاثة مثيلات RPL لكل DODAG، واحد لكل نوع حركة مرور. بهذه الطريقة، يعتمد اختيار المسار على معايير كل نوع من أنواع

حركة المرور. في كل جهاز، تم استخدام قائمة انتظار افتراضية ثلاثية الرؤوس لفصل أنواع حركة المرور المختلفة وإعطاء أولوية إرسال وحزم مختلفة لكل نوع من أنواع حركة المرور. أخيرًا ، يتم استخدام خوارزميات جدولة حزم مختلفة لجدولة الحزم في كل قائمة انتظار، وبين قوائم الانتظار الثلاثة.

تم استخدام برنامج المحاكات Cooja في نظام التشغيل Contiki OS لتنفيذ البروتوكول الجديد مع العديد من السيناريوهات والإعدادات. تم إجراء تحليل شامل ومقارن للنتائج .بشكل عام ، أظهرت جميع المقاييس التي تم اختبارها أن بروتوكول RT-RPL المقترح يمكن أن يقدم نتائج أفضل وأكثر استقرارًا في ظل حركة مرور عالية وشبكات واسعة النطاق، مع جودة روابط مختلفة مقارنةً ببروتوكول RPL الافتراضي. أظهرت النتيجة أيضًا أنه بالنسبة لحركة المرور في الوقت الحقيقي الصارم، كان أداء RT-RPL مستقرًا وأن تأثير ارتقاع معدل النقل وقابلية التوسع بالكاد يتأثران به، حيث أن التأخير من طرف إلى طرف للوقت الحقيقي الصارم كان في حده الأدنى و تم زيادة مستوى الموثوقية لكلا النوعين من حركة المرور في الوقت الحقيقي على شكل ارتفاع معدل إيصال الحزم PDR وانخفاض معدل فقدان الحزم في ظل ظروف الشبكة المختلفة. حتى بالنسبة لحركة المرور لزحم الزمن غير الحقيقي، أظهر RT-RPL ارتفاعًا كبيرًا في الأداء مقارنةً بـ RPLالأصلي، أخيرًا تم تحليل الحمل الزائد للبروتوكول الجديد وأظهرت النتائج أن RT-RPL لديها حمل زائد أقل من RPL بالإضافة الى اطالة حياة الشبكة.