Ministry of Higher Education and
Scientific Research
University of Mosul
College of Computer Science and
Mathematics
Department of Computer Science

A System for Edge and Fog Computing Using Distributed Real Time Containerization

A Thesis Submitted to the Council of the College of
Computer Science and Mathematics
University of Mosul
as a Partial Fulfillment of Requirements
for the Degree of Master of Science in
Computer Science

By

Khalid Dabbas Moharib Basheer

Supervised by

Prof. Dr. Dhuha Basheer Abdullah Mohammed

2025 A.D. **1447 A.H.**

ABSTRACT

Fog and Edge are both distributed computing paradigms that meet the low-latency demands of upcoming Internet of Things (IoT) applications. The IoT applications have widely adopted this computing paradigm as the prevailing one. Its purpose is to connect IoT devices to the cloud. Thus, Fog computing has been proposed as an essential component to complement cloud computing for virtualised applications by utilizing containers to compartmentalise real-time control applications. Containers have become a feasible substitute for Virtual Machines (VMs) in operating system virtualisation.

The GreenPi, a new smart irrigation system is designed and developed in this work, which will facilitate sustainable agriculture through efficient water and energy utilization. GreenPi utilizes real-time, distributed Fog and Edge computing alongside LoRa technology to schedule irrigation depending on sensor data and weather conditions. GreenPi comprises a four-tier model consisting of the following layers: 1) Sensors and actuators for data acquisition from the field and command transmission to actuator nodes such as valves or water pumps; 2) the Edge layer receives sensor data and transmits commands to actuators utilizing ESP32 with LoRa; 3) a Fog layer that employs Docker containers for executing applications to oversee data processing, irrigation decisions, and communication with cloud and Edge devices; and 4) a cloud layer that supplies weather data and enables advanced data analysis.

One of the main challenges in designing this system was achieving real-time distributed containerization on resource-constrained and heterogeneous Edge and Fog computing nodes. The primary goal of the system is to ensure low latency and energy efficiency while maintaining scalability and compatibility across diverse hardware and software environments.

GreenPi is monitored in real-time by incessantly transmitting temperature, humidity, and soil moisture data to the Fog. The proposed system, with improved methodology and diminished latency, yields good results for smart farming and automated irrigation. A compact agricultural model is developed to demonstrate the efficacy of the GreenPi system, yielding substantial water conservation, improved moisture retention stability, and effective energy savings that guarantee the system's sustainable operation relative to conventional irrigation techniques.

In addition to the importance of conserving water and using it efficiently, optimal energy conservation is equally important. Therefore, the GreenPi system is designed to save as much energy as possible. Energy consumption in Edge devices has been significantly reduced by using LoRa technology, which is a low-power transmitter and receiver, and by using algorithms that reduce power consumption by activating deep sleep mode. Also, the use of small solar panels contributes to sustainable agriculture.

The results of the GreenPi system demonstrate significant water savings, improved moisture level stability, and efficient energy use, ensuring sustainable operation compared to traditional irrigation methods. The results also show that utilizing the smart irrigation system markedly reduces water consumption. Furthermore, results indicate that optimizing the Edge device with deep sleep modes substantially extends battery life and minimizes power usage. Finally, the results highlight the effectiveness of LoRa technology in covering large agricultural areas more efficiently than conventional communication methods.

وزارة التعليم العالي والبحث
العلمي
جامعة الموصل
كلية علوم الحاسوب والرياضيات
قسم علوم الحاسوب

نظام للحوسبة الضبابية والحافة باستخدام الحاويات الموزعة في الزمن الحقيقي

رسالة مقدمة
الى مجلس كلية علوم الحاسوب والرياضيات في جامعة الموصل
كجزء من متطلبات نيل شهادة ماجستير علوم في
علوم الحاسوب

من قبل

خالد دباس محارب بشير

بإشراف
أ.د. ضحى بشير عبدالله محمد

١٤٤٧ هـ ٢٠٢٥ م

الملخص

تُعد الحوسبة الضبابية Fog والحوسبة الطرفية Edge من النماذج الموزعة، التي تلبي متطلبات زمن الاستجابة المنخفض للتطبيقات المستقبلية في إنترنت الأشياء IoT. وقد تبنّت تطبيقات إنترنت الأشياء هذا النموذج الحوسبي على نطاق واسع بوصفه النموذج السائد، إذ يهدف إلى ربط أجهزة إنترنت الأشياء بالسحابة. ومن هنا تم اقتراح الحوسبة الضبابية كعنصر أساسي مكمّل للحوسبة السحابية في التطبيقات الافتراضية، من خلال الاستعانة بالحاويات Containers لعزل تطبيقات التحكم الفوري. وقد أصبحت الحاويات بديلًا عمليًا للآلات الافتراضية VMs في مجال افتراضية أنظمة التشغيل.

تم في هذا العمل تصميم وتطوير نظام ري ذكي جديد يُعرف باسم GreenPi، والذي يهدف إلى تمكين الزراعة المستدامة من خلال الاستخدام الفعال للمياه والطاقة. يستفيد GreenPi من الحوسبة الضبابية والطرفية الموزعة في الوقت الفعلي جنبًا إلى جنب مع تقنية LoRa لجدولة الري بناءً على بيانات الحساسات والظروف الجوية. يتكون نظام GreenPi من نموذج رباعي الطبقات، وهي: ١) الحساسات والمحركات لأخذ البيانات من الحقل وإرسال الأوامر إلى وحدات التشغيل مثل الصمامات أو مضخات المياه، ٢) طبقة الحوسبة الطرفية (Edge) التي تستقبل بيانات الحساسات وترسل الأوامر إلى المحركات باستخدام ESP32 مع LoRa، ٣) طبقة الحوسبة الضبابية (Fog) التي تستخدم حاويات Docker لتنفيذ التطبيقات والإشراف على معالجة البيانات واتخاذ قرارات الري والتواصل مع الأجهزة السحابية والطرفية، ٤) الطبقة السحابية (Cloud) التي توفر بيانات الطقس وتمكن من إجراء تحليلات بيانات متقدمة.

من أبرز التحديات في تصميم هذا النظام تحقيق التشغيل بالحاويات الموزعة في الزمن الحقيقي على عقد طرفية وضبابية محدودة الموارد ومتغايرة البنية. ويتمثل الهدف الرئيسي للنظام في ضمان تقليل زمن التأخير وكفاءة الطاقة مع الحفاظ على قابلية التوسع والتوافق عبر بيئات الأجهزة والبرمجيات المختلفة.

يتم مراقبة GreenPi في الزمن الحقيقي من خلال الإرسال المستمر لبيانات درجة الحرارة والرطوبة ورطوبة التربة إلى وحدات الحوسبة الضبابية. وقد أظهر النظام المقترح، بفضل المنهجية المحسنة وانخفاض زمن الاستجابة، نتائج جيدة في مجال الزراعة الذكية والري المؤتمت. وتم تطوير نموذج زراعي مصغّر لإثبات فعالية نظام GreenPi حيث حقق توفيرًا كبيرًا في المياه، وتحسناً في

استقرار رطوبة التربة، وكفاءة في استهلاك الطاقة تضمن التشغيل المستدام للنظام مقارنة بأساليب الري التقليدية.

إلى جانب أهمية ترشيد استخدام المياه واستغلالها بكفاءة، تبرز المحافظة المثلى على الطاقة بوصفها ضرورة موازية. لذا صُمّم نظام GreenPi لتقليل استهلاك الطاقة إلى أدنى حد ممكن، حيث تم خفض استهلاك الطاقة في الأجهزة الطرفية بشكل ملحوظ عبر استخدام تقنية الاتصال LoRa ذات الاستهلاك المنخفض للطاقة، وكذلك عبر خوارزميات تقلل استهلاك الطاقة من خلال تفعيل وضع السكون العميق Deep Sleep. كما ساهم استخدام الألواح الشمسية الصغيرة في تعزيز استدامة الزراعة.

تُظهر نتائج نظام GreenPi توفيرًا كبيرًا في المياه، واستقرارًا محسّنًا لمستوى الرطوبة، وكفاءة في استخدام الطاقة، مما يضمن تشغيلًا مستدامًا مقارنة بأساليب الري التقليدية. كما تُشير النتائج إلى أن استخدام نظام الري الذكي يقلل بشكل ملحوظ من استهلاك المياه، وأن تحسين أداء الأجهزة الطرفية باستخدام وضع النوم العميق يطيل عمر البطارية ويقلل استهلاك الطاقة بشكل كبير. وأخيرًا، تُبرز النتائج فعالية تقنية LoRa في تغطية مساحات زراعية واسعة بكفاءة أكبر مقارنة بطرق الاتصال التقليدية.