

University of Mosul
College of Engineering



Edge Computing Enabled Wireless Sensor Network for Extreme Environments - A Case Study on Hyperspectral Image Classification

Hothayfa Rabea Mohammed

Ph.D. Thesis

In

Computer Engineering \ Computer Engineering

Supervised by

Prof. Dr. Jassim M. Abdul-Jabbar

November / 2023 A.D.

Rabi' II / 1445 AH

Abstract

This research explores employing edge computing-enabled WSN in extreme environments for localized data processing, aiming to minimize latency, bandwidth usage, and energy consumption. A case study evaluates edge computing's effectiveness in various scenarios, uncovering challenges and limitations in its implementation within extreme environments.

The research focuses on developing and assessing a space-based hyperspectral image capture system. A Wireless Sensor Network, utilizing Raspberry Pi 3 as sensor nodes and cluster head for AI algorithm execution, was designed. Mathematical communication modules handle the remaining aspects of the system's communication model, ensuring efficient data transmission to Earth.

The energy consumed by the node is reduced through the use of edge computing, with a reduction rate ranging from 30% to 50%, depending on the applied scenario. Bandwidth usage is significantly reduced by up to 99%, while latency is decreased by 20% to 30%. All results are compared to those obtained from using cloud computing. Additionally, the overall energy consumption for all scenarios is approximately halved, and bandwidth usage is significantly decreased. For instance, with the Salinas dataset, data transmission is decreased from 26 MB to 12 KB. Similarly, in the case of the Indian Pines dataset, the reduction is from 5.7 MB to 12 KB. This remarkable improvement is directly linked to the volume of data captured at the edge.

In this study, a benchmark dataset named the Indian Pines

and Salinas dataset was used. The results demonstrate that edge computing can significantly enhance bandwidth usage, reduce latency, and improve energy efficiency in WSN operating in remote and harsh environments. Additionally, when Principal Component Analysis (PCA) is applied to the datasets, it reveals that 25 bands in Salinas and 50 bands in Indian Pines out of 200 are sufficient to represent the entire dataset while maintaining accuracy at an acceptable level.

Edge computing can significantly improve the performance of WSN if the total time required for preprocessing gathered data at the edge, plus the link delay to transmit resultant information to the cloud, is less than the time required to send raw data. Additionally, the energy consumed by a sensor node or cluster head in edge computing should be lower than that in cloud computing, and the bandwidth usage in edge computing should be lower than that in cloud computing. A fusion of these factors can aid in making the right decision on whether to use edge computing or not.

The main contribution is to overcome difficulties associated with the application of WSN in extreme environments, such as latency, excessive power consumption, energy consumed by the node, and excessive bandwidth usage. Additionally, it involves reducing the size of the image using PCA and processing a few bands, either in cloud or edge computing.

The study is conducted for extreme environments, but it can be extended to other convolutional environments with the restriction of the cost and the complexity of the system.



جامعة الموصل

كلية الهندسة

شبكة استشعار لاسلكية مفعلة لحوسبة الحافة للبيئات المفرطة -دراسة حالة حول

تصنيف الصور فائقة الطيف

حنيفة ربيع محمد قاسم

اطروحة دكتوراه فلسفة في هندسة الحاسوب / هندسة الحاسوب

بإشراف

الأستاذ الدكتور جاسم محمد عبد الجبار

المخلص

تتناول هذه البحث استخدام تقنية حوسبة الحافة في شبكات الاستشعار اللاسلكية في البيئات القاسية لمعالجة البيانات محليًا، بهدف تقليل التأخير واستهلاك النطاق الترددي واستهلاك الطاقة. أجريت دراسة حالة لتقييم فعالية حوسبة الحواف في سياقات مختلفة، مع دراسة التحديات والقيود في تنفيذها في البيئات القاسية.

تركز البحث على تطوير وتقييم نظام لالتقاط صور فوتوغرافية فائقة الطيف في الفضاء. تم تصميم شبكة الاستشعار اللاسلكية باستخدام Raspberry Pi 3 كعقدة استشعار ورؤوس تجميع البيانات ولتنفيذ خوارزميات الذكاء الاصطناعي. النماذج الرياضية استخدمت لحساب الجوانب الباقية من نموذج الاتصال للنظام، مضمنة تأمين انتقال البيانات بكفاءة إلى الأرض.

تنخفض كمية الطاقة التي يستهلكها العقد من خلال استخدام حوسبة الحواف، مع معدل تقليل يتراوح بين 30% و 50%، اعتمادًا على السيناريو المطبق. ينخفض استخدام النطاق الترددي بشكل كبير بنسبة تصل إلى 99%، في حين يتم تقليل التأخير بنسبة تتراوح بين 20% و 30%. تُقارن جميع النتائج بتلك التي تم الحصول عليها باستخدام حوسبة السحاب. بالإضافة إلى ذلك، تقليل الاستهلاك الإجمالي للطاقة لجميع السيناريوهات بنسبة تقريبًا إلى النصف، ويتم تقليل استخدام النطاق الترددي بشكل كبير. على سبيل المثال، في مجموعة البيانات Salinas، ينخفض انتقال البيانات من 26 ميجابايت إلى 12 كيلوبايت. بالمثل، في حالة مجموعة بيانات Indian Pines، يتم التقليل من 5.7 ميجابايت إلى 12 كيلوبايت. يرتبط هذا التحسن الرائع بحجم البيانات الملتقطة على الحافة.

في هذه الدراسة، تم استخدام مجموعة بيانات معيارية تُعرف بمجموعة بيانات Indian Pines و Salinas. تظهر النتائج أن حوسبة الحواف يمكنها تعزيز استخدام النطاق الترددي بشكل كبير، وتقليل التأخير، وتحسين كفاءة الطاقة في شبكات الاستشعار اللاسلكية التي تعمل في بيئات نائية وقاسية. بالإضافة إلى ذلك، عند تطبيق تحليل المكونات الرئيسية (PCA) على مجموعات البيانات، يظهر أن 25 نطاقًا في Salinas و 50 نطاقًا في Indian Pines من بين 200 نطاق يكفيان لتمثيل المجموعة بأكملها مع الحفاظ على دقة على مستوى مقبول.

تستطيع حوسبة الحواف تحسين أداء شبكات الاستشعار اللاسلكية بشكل كبير إذا كان الوقت الإجمالي المطلوب لمعالجة البيانات المجمعة على الحافة بالإضافة إلى تأخير الربط لإرسال المعلومات الناتجة إلى السحابة أقل من الوقت المطلوب لإرسال البيانات الخام. بالإضافة إلى ذلك، يجب أن يكون استهلاك الطاقة من قبل عقد الاستشعار أو رأس الكتلة في حوسبة الحواف أقل من ذلك في حوسبة السحابة، ويجب أن يكون استخدام النطاق الترددي في حوسبة الحواف أقل من ذلك في حوسبة السحابة. يمكن أن تساعد مزيج هذه العوامل في اتخاذ القرار الصحيح حول استخدام حوسبة الحواف.