# نظام إدارة موارد متوازي قائم على الحوسبة عالية الأداء لتطبيقات البيانات الكبيرة

**اسم الطالب**

**وليد بن عبدالله أحمد الشهري**

بحث مقدم لنيل درجة الدكتوراة في تخصص علوم الحاسبات

**المشرف**

**أ.د. ماهر علي محمد خماخم**

**د. عبدالله احمد سالم باسهيل**

**المستخلص**

كمية البيانات التي يتم إنتاجها في المجالات العلمية والتجارية ينمو بشكل كبير ، في المقابل ، ظهرت تقنيات البيانات الضخمة مثل Spark and Hadoop لمعالجة تحديات جمع ومعالجة وتخزين هذه البيانات الكبيرة.

بينما تركّز تطبيقات البيانات الضخمة على معالجة مجموعات البيانات الضخمة ، تركّز الحوسبة عالية الأداء على إجراء العمليات الحسابية بأسرع ما يمكن. يتم تحقيق ذلك من خلال دمج مكونات الحاسب المادية غير المتجانسة وصياغة البرمجيات والخوارزميات لاستغلال التوازي الذي توفره الحوسبة عالية الأداء. قدرات الأداء التي توفرها الحوسبة عالية الأداء جعلت منها بيئة جاذبة لدعم سير العمل العلمي وحوسبة البيانات الكبيرة ، وقد أدّى هذا إلى تقارب بيئة الحوسبة عالية الأداء ومجالات البيانات الكبيرة.

لسوء الحظ ، عادة ما تكون هناك مشكلة في الأداء عند تشغيل تطبيقات البيانات الكبيرة في بيئة الحوسبة عالية الأداء لأن هذه التطبيقات مكتوبة بلغات برمجة عالية المستوى. قد تفتقد هذه اللغات للأداء الأمثل وقد لا تشجّع أو تدعم كتابة برامج متوازية للغاية على عكس بعض نماذج البرمجة المتوازية مثل MPI. علاوة على ذلك ، تم تصميم هذه المنصات باعتبارها بنية موزّعة ، والتي تختلف عن بنية العقد الحاسوبية في بيئة الحوسبة عالية الأداء.

وبالمثل ، قد يعوق الحجم الكبير من البيانات الكبيرة نماذج البرمجة المتوازية مثل MPI , OpenMP ونماذج برمجة وحدة معالجة الرسومات GPU مثل CUDA, OpenCL, OpenACC عن دعم مستويات عالية من التوازي.

بناءً على المشكلات المذكورة أعلاه ، هناك حاجة لتقليل فجوة الأداء بين الحوسبة عالية الأداء وتطبيقات البيانات الضخمة مع الحفاظ على استهلاك الطاقة في الحد الأدنى.

تحقيقًا لهذه الغاية ، تطرح هذه الأطروحة السؤال البحثي التالي: **كيف يمكن تحسين أداء تطبيقات البيانات الكبيرة عند تنفيذها على العقد الحاسوبية في بيئة الحوسبة عالية الأداء دون التضحية باستهلاك الطاقة؟**

يتم تقديم نظام (HSMO) كنظام هجين يجمع بين Spark كنموذج برمجي للبيانات الضخمة وبين نماذج البرمجة المتوازية MPI, OpenACC في هذه الرسالة كإجابة على هذا السؤال. يجمع هذا التكامل بين مزايا كل نموذج برمجة مما يوفّر مزيداً من الفعالية. لتحسين الأداء دون التضحية باستهلاك الطاقة ، يحتاج نهج التكامل هذا إلى استغلال البنية الأساسية للعتاد الحاسوبي المادي بطريقة ذكية. للقيام بذلك يتم اقتراح أسلوب جدولة مبني على أساس الهيكل الظاهري للتطبيق والطوبولوجيا المادية لموارد الحوسبة عالية الأداء.

يساهم النهج المقدّم في هذه الرسالة في مجال الحوسبة عالية الأداء والبيانات الضخمة ، وبشكل أكثر تحديدًا ، في إدارة موارد الحوسبة عالية الأداء ، وكذلك في مجالات محلية وإدارة البيانات الضخمة. تشمل المساهمات الرئيسية لهذه الأطروحة أيضاً نهج التكامل وأسلوب الجدولة الجديد نفسه ، والذي يدعم تطبيقات البيانات الكبيرة في بيئة الحوسبة عالية الأداء ، وتنفيذ النموذج الأولي المسمّى HSMO ، مما يظهر صلاحية النهج المقترح ، بالإضافة إلى دراسة استقصائية عن أحدث البحوث ذات الصلة.

# A Parallel HPC-based Resource Management System for Big Data Applications

**By**

**Waleed Abdullah Ahmad Al Shehri**

A thesis submitted for the requirements of the Degree of Doctor of Philosophy in Computer Science

**Supervised By**

**Prof. Maher Khemakhem**
**Dr. Abdullah Basuhail**

## Abstract

The amount of data produced in scientific and commercial fields is growing dramatically. Correspondingly, big data technologies, such as Hadoop and Spark, have emerged to tackle the challenges of collecting, processing, and storing such large-scale data.

While the focus of big data applications is on handling enormous datasets, high-performance computing (HPC) focuses on performing computations as fast as possible. This is achieved by integrating heterogeneous hardware and crafting software and algorithms to exploit the parallelism provided by HPC. The performance capabilities afforded by HPC have made it an attractive environment for supporting scientific workflows and big data computing. This has led to a convergence of the HPC and big data fields.

Unfortunately, there is usually a performance issue when running big data applications on HPC clusters because such applications are written in high-level programming languages. Such languages

may be lacking in terms of performance and may not encourage or support writing highly parallel programs in contrast to some parallel programming models like Message Passing Interface (MPI). Furthermore, these platforms are designed as a distributed architecture, which differs from the architecture of HPC clusters.

Alternately, the large volume of big data may hinder parallel programming models such as Message Passing Interface (MPI), Open Multi-Processing (OpenMP) and accelerator models (CUDA, OpenACC, OpenCL) from supporting high levels of parallelism.

Based on the above-mentioned problems, there is a need to reduce the performance gap between HPC and big data applications while minimizing power consumption.

To this end, this thesis puts forward the following research question: **How can the performance of big data applications be enhanced on HPC clusters without sacrificing power consumption?**

A Hybrid Spark MPI OpenACC (HSMO) system is presented in this thesis as an answer to this question. HSMO relies on integrating Spark as a big data programming model with MPI and OpenACC as parallel programming models. Such integration brings together the advantages of each programming model and provides greater effectiveness.

To enhance performance without sacrificing power consumption, the integration approach needs to exploit the hardware infrastructure in an intelligent manner. To do so, a mapping technique is proposed that is built based on the application's virtual topology and the physical topology of the HPC resources.

The presented approach in this thesis contributes to the domain of High-Performance Computing and Big Data and, more specifically, to resource management of HPC clusters, as well as to the areas of data locality and management of big data. The main contributions of this thesis include the novel integration and mapping approach itself, which supports big data applications on HPC clusters, the prototype implementation called HSMO, demonstrating the viability of the proposed approach, and a literature survey on relevant state-of-the-art research.