Improving the Performance of Jacobi Iterative Method for Solving Sparse Linear Equation Systems on Intel MIC Architecture

Hana Mohammed Alyahya

Supervised By
Prof. Rashid Mehmood
Dr. Iyad Katib

ABSTRACT

Numerous important scientific and engineering applications rely on and are hindered by, the intensive computational and storage requirements of solving large sparse linear equation systems. The numerical methods for solving linear equations can be categorised into direct methods and iterative methods. The Jacobi method is a widely used iterative solver due to its simplicity and efficiency. Its performance is affected by factors including the storage format, the specific computational algorithms and its implementation. While the performance of Jacobi has been studied extensively on conventional CPU architectures, research on its performance on emerging architectures, such as the Intel Many Integrated Core (MIC) Architecture, is still in its infancy.

The aim of this thesis is to efficiently implement the Jacobi method on Intel MIC. A performance analysis of the parallel implementation of Sparse Matrix Vector Multiplication (SpMV) and the Jacobi method on the first-generation of Intel MIC, namely Knights Corner (KNC), is provided. Four versions of Jacobi in addition to the sequential implementation have been implemented. Jacobi was implemented with two storage formats: Compressed Sparse Row (CSR) and Modified Sparse Row (MSR). Offloading mode and OpenMP was used. The performance was measured in terms of the execution time and the offloading time. The results of the sparse matrices were reported, with over 28 million rows and 640 million nonzero elements acquired from thirteen diverse application domains. The experimental results showed that this Jacobi parallel implementation on MIC achieved speedups of up to 27.75x compared to sequential implementation. It delivered a speedup of up to 3.81x compared to a powerful Multi-Core node comprising 24 cores (two Intel Xeon E5-2695v2 processors, 12 cores each). Future work will look into further analysis of the parallel Jacobi method for sparse linear equations systems of larger sizes from diverse application domains with the aim of further improving performance.

تحسين أداء طريقة جاكوبي التكرارية لحل أنظمة المعادلات الخطية المتناثرة بإستخدام معمارية إنتل متعددة الأنوية

هناء محمد اليحياء

إشراف : د. راشد محمود ، د. إياد كاتب

المستخلص

تعتبر أنظمة المعادلات الخطية الأساس لكثير من التطبيقات العلمية، الهندسية والطبيعية. هناك العديد من الطرق لحل مثل هذه الأنظمة وقد تصنف إلى نوعين، الأولى هي بإستخدام الطرق المباشرة والثانية هي بإستخدام الطرق التكرارية. طريقة جاكوبي هي إحدى الطرق التكرارية التي تستخدم لحل أنظمة المعادلات الخطية وتعتبر هذه الطريقة من أشهر الطرق نظراً لسهولتها ونتائجها الجيدة. أنظمة المعادلات الخطية تحتوي على العديد من العمليات الرياضية والتي تحتاج إلى وقت لمعالجتها، لذلك لحل مثل هذا النوع من المعادلات يجب إستخدام هياكل عالية الأداء. معمارية إنتل متعددة الأنوية أحد هذه الهياكل وهو قادر على معالجة البيانات بسرعة فائقة وبوقت قصير. في هذا البحث، تم تنفيذ طريقة جاكوبي التكرارية بإستخدام معمارية إنتل متعددة الأنوية بالإضافة إلى تنفيذها بالمعالجات المتعددة الأنوية التقليدية. أستخدمنا نوعين من أنواع هياكل البيانات لتخزين المصفوفات المتناثرة الضخمة، الأولى هي (CSR) والثانية هي (MSR). نفذنا أربعة نسخ من طريقة جاكوبي بالإضافة إلى النسخة الأساسية بهدف الحصول على أفضل النتائج الممكنة. تم قياس الأداء من ناحية وقت التنفيذ ووقت التحميل بالثانية. تم تحليل أداء هذه الطريقة وإظهار النتائج لعدد ٣٩ مصفوفه مأخوذه من أنظمة حقيقية في عدة مجالات. النتائج شملت تنفيذ الطريقة لأكثر من ٢٨ مليون صف و٦٤٠ مليون عنصر غير

صفري. أظهرت النتائج أن مقترحنا قد حقق أداء أفضل من أداء التنفيذ التسلسلي بنسبة تفوق ٢٧,٧٥٪ وبنسبة تفوق ٣,٨١٪ مقارنة بالمعالجات التقليدية. نسعى في المستقبل للمزيد من التحليل لطريقة جاكوبي لحل معادلات خطية متناثرة ذات أحجام أكبر من مجالات تطبيق متنوعة بهدف تحسين الأداء.

جزء من نتائج هذا البحث قُدم كورقة علمية للنشر في مؤتمر SCITA الذي أقيم في الجامعة مؤخراً وقد حصلت الورقة العلمية على المركز الثاني كأفضل ورقة علمية وسيتم نشرها من قبل Springer .