

Computación de Altas Prestaciones: Problemáticas y Aplicaciones

Javier Balladini, Marina Morán, Claudia Rozas, Emmanuel Frati¹, Armando De Giusti², Remo Suppi³, Dolores Rexachs³, Emilio Luque³

Facultad de Informática, Universidad Nacional del Comahue
Buenos Aires 1400, Neuquén Capital, Tel. +54 299 4490300
{javier.balladini, marina, claudia.rozas}@fi.uncoma.edu.ar

¹ Universidad Nacional de Chilecito

La Rioja
fefrati@undec.edu.ar

² Instituto de Investigación en Informática LIDI, Universidad Nacional de La Plata

50 y 120 - 2do Piso, La Plata, Tel. +54 221 4227707

degiusti@lidi.info.unlp.edu.ar

³ Departamento de Arquitectura de Computadores y Sistemas Operativos, Universidad Autónoma de Barcelona

Campus UAB, Edifici Q, 08193 Bellaterra (Barcelona), España. Tel: +34 93 581 1990

{remo.suppi, dolores.rexachs, emilio.luque}@uab.es

Resumen

Nuestra investigación está centrada en dos líneas. Por un lado, el estudio del consumo energético de los sistemas de Cómputo de Altas Prestaciones (HPC, de High Performance Computing) cuya alta demanda energética tiene serias consecuencias financieras, medioambientales, y en muchos casos también sociales. El aumento de la eficiencia energética de los sistemas de HPC no solo proviene de las nuevas arquitecturas hardware, también está involucrado el software, quien debe gestionar y configurar el sistema para mantener un determinado equilibrio entre tiempo de ejecución, eficiencia energética y productividad. Es en este aspecto, el software, en el que estamos trabajando. Por otro lado, nos interesa el estudio de aplicaciones que utilizan sistemas de cómputo de altas prestaciones orientadas a su uso en centros de salud. En particular, nos enfocamos en sistemas de monitoreo inteligente para Unidades de Vigilancia Intermedia y Unidades de Terapia Intensiva.

Estas líneas de investigación se desarrollan en colaboración entre tres Universidades (dos nacionales y una extranjera) y un Hospital.

Palabras claves: computación ecológica, eficiencia energética, computación de altas prestaciones, aplicaciones para la salud.

1. Contexto

La investigación aquí presentada surge como una colaboración entre la Facultad de Informática de la Universidad Nacional del Comahue (UNCOMA), el Instituto de Investigación en Informática LIDI de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP), y el grupo de investigación HPC4EAS (High Performance Computing for Efficient Applications and Simulation) de la Universidad Autónoma de Barcelona (España). La colaboración se centra actualmente en dos temáticas. Una de ellas se centra en la problemática del consumo energético de los sistemas de cómputo paralelo al ejecutar aplicaciones científicas computacionalmente complejas. La otra temática está relacionada a aplicaciones para instituciones de la salud que requieren cómputo de altas prestaciones. En este último caso, se está trabajando en colaboración con el Hospital Francisco Lopez Lima de la Ciudad de General Roca, Río Negro.

La financiación de las líneas de investigación aquí presentadas provienen del proyecto de investigación de UNCOMA "04/F004: Informática Aplicada al Medio Académico y Científico" y el Inter-U "Colaboración UNComa-UNLP: docencia e investigación en Sistemas Paralelos" de PROMINF, y de otros proyectos de la UNLP y del grupo HPC4EAS.

2. Introducción

Nuestra investigación está enfocada en dos temáticas:

Consumo energético

Los sistemas de Cómputo de Altas Prestaciones (HPC, de *High Performance Computing*) han tenido, por décadas, el único objetivo de incrementar la velocidad de procesamiento de las aplicaciones científicas de alta demanda computacional. Esto se ve reflejado en la lista del TOP500 [2], que utiliza la métrica FLOPS (*F*loating-*p*oint *O*perations per *S*econd, cantidad de operaciones de coma flotante por segundo) para determinar el orden de clasificación de las supercomputadoras. Sólo importaban las prestaciones y, principalmente para el dueño de la supercomputadora, la relación precio/prestaciones. Así, las supercomputadoras se volvieron tan grandes que llegan a consumir tanta electricidad como una ciudad impactando fuertemente en lo económico (y posiblemente en lo ecológico y social, no solo por su consumo energético específico sino también por la energía requerida para refrigerar el sistema (que puede llegar a demandar tanto como el propio sistema de cómputo) y así asegurar su correcto funcionamiento.

El consumo energético, un factor limitante para el HPC [13], ha dado lugar a la nueva era de la supercomputación ecológica. Podríamos decir que el gran hito que determinó esta nueva era data de 2007. En ese año, una nueva entidad denominada Green500 [1], surgida como alternativa o complemento del TOP500, publica su primera lista que clasifica a las supercomputadoras de mayor eficiencia energética del mundo; esta clasificación considera el rendimiento por W (FLOPS/W) de cada supercomputadora al ejecutar un cierto benchmark. La eficiencia energética de los sistemas está mejorando drásticamente. A modo de ejemplo, basta observar que la primera supercomputadora publicada por el Green500 en la lista de Junio de 2014 procesaba 4389,82 GFLOPS/W y la de Noviembre de 2015 fue capaz de procesar 7031,58 GFLOPS/W. No obstante, como las mismas continúan incrementando su tamaño, su consumo energético sigue en aumento. Sin considerar el sistema de refrigeración, la actual supercomputadora más rápida del mundo demanda 17 MW de potencia, más que ninguna otra en la historia de la computación, significando un costo anual de aproximadamente 17 millones de dólares. Asimismo, la era exaescala aumentará notablemente la magnitud del problema energético.

Las diversas técnicas desarrolladas para mejorar la eficiencia energética de los procesadores involucran tanto al hardware como al software [7], y entre las más importantes se encuentran: (1) Explotación de paralelismo a través de múltiples cores que tienen bajas frecuencias de reloj, (2) Nivel de circuito y lógico [18] involucrando la tecnología de fabricación de los dispositivos (transistores) y reordenamiento de compuertas lógicas, (3) Interconexión de unidades funcionales y nodos involucrando rediseño de buses y redes de interconexión, (4) Optimizaciones de memoria en la jerarquía de memoria, (5) Arquitecturas adaptables e hibernación de recursos [9] involucrando cachés de activación parcial, discos, cores, unidades funcionales, tarjetas de interfaz de red, memorias, (6) Integración on-chip, (7) Procesadores de propósito especial involucrando el uso de Unidades de Procesamiento Gráfico (GPUs), (8) Rediseño de algoritmos de aplicaciones, (9) Planificación de tareas y asignación de tareas a recursos hardware [4], y (10) Escalado dinámico de frecuencia y tensión [17].

Aplicaciones para la salud

En un centro de salud hay diversas áreas en donde puede ser de gran utilidad los sistemas de cómputo de altas prestaciones. Algunas de estas áreas son las Unidades de Terapia Intensiva (UTI, o Unidad de Cuidados Intensivos - UCI) de adultos, pediátrica y neonatal. En una UTI, muchos sensores se conectan a los pacientes para medir distintos parámetros fisiológicos de alta frecuencia. Actualmente, se registra una medida de un conjunto de parámetros (no todos) de vez en cuando, posiblemente cada una o dos horas. Con la pérdida de estos datos, se están perdiendo muchas oportunidades para descubrir nuevos patrones de mediciones fisiológicas que podrían conducir a la detección temprana (predicción) de patologías. La detección temprana de patologías ofrece a los médicos la capacidad de planificar y comenzar tratamientos más pronto o potencialmente detener la progresión de una enfermedad, posiblemente, reduciendo la mortalidad y los costos. Los datos generados por los equipos médicos son un problema de grandes datos (*big data*) con restricciones de tiempo real para el procesamiento de algoritmos médicos diseñados para predecir patologías.

En la literatura existen algunos trabajos relacionados a la predicción de patologías como [14, 10, 12], sin embargo la mayoría son estudios médicos que no llegan a implementarse en sistemas de computación, a excepción del primero de ellos que se ha orientado a UTI neonatal.

3. Línea de investigación

Consumo energético

Nuestro trabajo no pretende desarrollar nuevas tecnologías hardware que tengan una mayor eficiencia energética (*diseño ecológico* [15]), sino gestionar mediante software el hardware existente para reducir el consumo energético (*uso ecológico* [15]). Nos centramos en el desarrollo de metodologías, modelos y construcción de software para administrar y gestionar el consumo de energía y prestaciones.

Nuestra investigación se enfoca en las siguientes temáticas energéticas aplicadas a sistemas de computación de altas prestaciones:

1. Predicción de energía y rendimiento. Es importante proveer a un administrador de sistema de herramientas que permitan predecir la energía y el rendimiento que producirían distintas configuraciones del sistema al ejecutar una dada aplicación paralela, y así poder seleccionar la configuración adecuada que mantenga el compromiso deseado entre tiempo de ejecución y eficiencia energética.
2. Gestión energética en mecanismos de tolerancia a fallos. La tolerancia a fallos agrega una carga de trabajo significativa al sistema de cómputo, sobre todo en sistemas que tienen enormes cantidades de unidades de procesamiento, haciendo necesario gestionar el consumo energético de los distintos mecanismos.

Aplicaciones para la salud

Esta línea está enfocada en el estudio y desarrollo de un sistema para detección temprana de patologías para la UTI, utilizando un sistema de cómputo de altas prestaciones.

Como un primer paso, hemos decidido comenzar a trabajar en el desarrollo de un sistema de monitoreo inteligente para la Unidad de Vigilancia Intermedia (UVI), del Hospital Francisco Lopez Lima de General Roca, Río Negro. La UVI de este hospital es una sala de internación (con 5 camas) donde el paciente está más controlado que en las salas de internación común y menos controlado que en las salas de terapia intensiva. En la UVI cada paciente tiene conectado un monitor médico, y hay enfermeros de forma permanente que controlan y asisten a los pacientes. Sin embargo, no hay médicos permanentes. Los médicos son llamados a demanda por los enfermeros cuando ellos detectan que su presencia es necesaria. El sistema de monitoreo inteligente que queremos desarrollar tiene como objetivo la disminución de muertes inesperadas. Debe

ser capaz de adquirir los datos fisiológicos de los monitores médicos y mediante la ejecución de algoritmos predefinidos detectar la necesidad de que algún paciente sea visitado por un médico o de notificar a los enfermeros de la realización de una cierta práctica sobre el paciente.

Contando ya con un subsistema de recuperación de datos de los equipos médicos que deberá desarrollarse en el primer paso, nos enfocaremos en el estudio de un sistema para detección temprana de patologías para la UTI.

4. Resultados y objetivos

Consumo energético

En referencia a la temática de caracterización energética de los sistemas, se ha estudiado la influencia de los modelos de programación paralela (OpenMP y MPI) y escalado de frecuencias de CPUs en sistemas de computación de altas prestaciones de memoria compartida [7]. También hemos estudiado los factores influyentes en el consumo energético de los sistemas de cómputo de altas prestaciones basados en CPUs y GPUs [8]. Posteriormente, hemos propuesto una metodología para caracterizar la potencia de sistemas de computación de altas prestaciones de memoria compartida [6]. La metodología involucra la búsqueda de factores influyentes en la potencia del sistema, realizando un análisis de sensibilidad de las propiedades de la carga de trabajo y parámetros del sistema en el comportamiento de potencia. La carga de trabajo considera aspectos de cómputo y comunicaciones de las aplicaciones. Esta metodología es similar a trabajos previos, pero nosotros proponemos un esquema de mayor profundidad que puede ayudar a mejorar la caracterización del sistema. También realizamos estudios sobre el impacto del sistema de Entrada/Salida en la eficiencia energética, que publicamos en [16].

En relación al diseño de algoritmos DVFS, hemos propuesto un algoritmo de mejora de la eficiencia energética para sistemas de memoria compartida [11], basado en la aceleración de los relojes de los cores en momentos de bajo paralelismo.

Respecto a la predicción de energía y estrategias energéticas en cloud computing, hemos propuesto una metodología para predecir el consumo energético de aplicaciones SPMD en entornos virtualizados, que publicamos en [4]. La metodología se basa en el desarrollo de un modelo analítico para predecir el consumo de energía y el producto energía-tiempo (EDP, Energy Delay Product). Las consideramos aplicaciones SPMD diseñadas con la librería de paso de mensajes

(MPI, Message Passing Interface), gran volumen de comunicación, que pueden generar problemas de balances de carga que afectan seriamente el tiempo de ejecución y la eficiencia energética. El método fue validado usando aplicaciones científicas y se observó una precisión de predicción entre el 91 y 96 %.

Los métodos de tolerancia a fallos tienen fuerte incidencia en el consumo energético de los sistemas de HPC, y resulta de suma importancia conocer, antes de ejecutar una cierta aplicación, el impacto que pueden producir los diferentes métodos y configuraciones del mismo. En [3], presentamos una metodología para predecir el consumo energético producido por el método de checkpoint coordinado remoto. La metodología se basa en una caracterización energética del sistema, una caracterización de la aplicación, y un modelo analítico que se instancia con los parámetros caracterizados. El modelo permite predecir la energía que consumirán los checkpoints para cualquier tamaño de problema y frecuencia de CPU de ejecución de checkpoints. Los resultados de las predicciones muestran una precisión mayor al 95 %.

Actualmente nuestros principales objetivos están orientados a:

- Proponer mecanismos de gestión de tolerancia a fallos que procuren un uso eficiente del cluster, permitiendo maximizar la productividad y minimizar el consumo energético.
- Mejorar la metodología propuesta de predicción del consumo energético de aplicaciones SPMD para permitir una mayor precisión de los resultados y extender la validación con otras aplicaciones.

Aplicaciones para la salud

Los resultados de esta línea de investigación actualmente se limitan a un análisis del estado general de las UTI del hospital Francisco Lopez Lima, que hemos publicado en [5]. Nuestros objetivos son:

- El desarrollo de un sistema de monitoreo inteligente para la UVI.
- El desarrollo de un sistema para detección temprana de patologías para la UTI.

5. Formación de recursos humanos

Los estudios aquí expuestos tienen como objetivo formar recursos humanos a nivel de grado y postgrado. Respecto al consumo energético,

en la Universidad Nacional del Comahue se ha desarrollado una tesis de grado, y se espera en 3 años más haber presentado una tesis doctoral relacionada a mecanismos de tolerancia a fallos que consideren el consumo energético. Respecto al tema de aplicaciones para la salud, se espera formar recursos humanos tanto a nivel de grado como postgrado.

Referencias

- [1] Sitio web del green500: <http://www.green500.org/>.
- [2] Sitio web del top500: <http://www.top500.org/>.
- [3] Javier Balladini, Marina Morán, Dolores Rexachs, and Emilio Luque. Metodología para predecir el consumo energético de checkpoints en sistemas de hpc. *XX Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC 2014)*, 2014.
- [4] Javier Balladini, Ronal Muresano, Remo Suppi, Dolores Rexachs, and Emilio Luque. Methodology for predicting the energy consumption of spmd application on virtualized environments. *Computer Science and Technology (JCST)*, 13(3):130–136, 2013.
- [5] Javier Balladini, Claudia Rozas, Emmanuel Frati, Nestor Vicente, and Cristina Orlandi. Big data analytics in intensive care units: challenges and applicability in an argentinian hospital. *Computer Science and Technology (JCST)*, 2015.
- [6] Javier Balladini, Enzo Rucci, Armando Eduardo De Giusti, Marcelo Naiouf, Remo Suppi, Dolores Rexachs del Rosario, and Emilio Luque Fadón. Power characterisation of shared-memory hpc systems. In *XVIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación*, 2012.
- [7] Javier Balladini, Remo Suppi, Dolores Rexachs, and Emilio Luque. Impact of parallel programming models and cpus clock frequency on energy consumption of hpc systems. *Computer Systems and Applications, ACS/IEEE International Conference on*, 0:16–21, 2011.
- [8] Javier Balladini, Federico Uribe, Remo Suppi, Dolores Rexachs, and Emilio Luque. Factores influyentes en el consumo energético de los sistemas de computación de altas prestaciones basados en cpus y gpus. *XVII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC 2011)*, pages 271–281, 2011.
- [9] Domingo Benitez, Juan C. Moure, Dolores Rexachs, and Emilio Luque. A reconfigurable cache memory with heterogeneous banks. In *Proceedings of the Conference on Design, Automation and Test in Europe, DATE '10*, pages 825–830, 3001 Leuven, Belgium, Belgium, 2010. European Design and Automation Association.

- [10] Andrea Bravi, Geoffrey Green, Andre Longtin, and Andrew J. E. Seely. Monitoring and identification of sepsis development through a composite measure of heart rate variability. *PLoS ONE*, 7(9), 2012.
- [11] Belén Casanova, Javier Balladini, Armando Eduardo De Giusti, Remo Suppi, Dolores Rexachs del Rosario, and Emilio Luque Fadón. Mejora de la eficiencia energética en sistemas de computación de altas prestaciones. In *XVIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación*, 2012.
- [12] Wei-Lung Chen and Cheng-Deng Kuo. Characteristics of heart rate variability can predict impending septic shock in emergency department patients with sepsis. *ACADEMIC EMERGENCY MEDICINE*, 2007.
- [13] Wu-Chun Feng, Xizhou Feng, and Rong Ge. Green supercomputing comes of age. *IT Professional*, 10(1), January 2008.
- [14] Carolyn McGregor. Big data in neonatal intensive care. *Computer*, 46(6):54-59, 2013.
- [15] San Murugesan. Harnessing green it: Principles and practices. *IT Professional*, 10:24-33, January 2008.
- [16] Javier Panadero, Sandra Méndez, Dolores Rexachs, Javier Balladini, Ismael Rodríguez, Adrián Pousa, Remo Suppi, and Emilio Luque. El impacto del sistema de entrada/salida en la eficiencia energética. In *XVII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación*, 2011.
- [17] Barry Rountree, David K. Lownenthal, Bronis R. de Supinski, Martin Schulz, Vincent W. Freeh, and Tyler Bletsch. Adagio: making dvs practical for complex hpc applications. In *ICS '09: Proceedings of the 23rd international conference on Supercomputing*, pages 460-469, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- [18] Vasanth Venkatachalam and Michael Franz. Power reduction techniques for microprocessor systems. *ACM Computing Surveys*, 237:2005, 2005.