

Cómputo paralelo y distribuido: eficiencia energética y aplicaciones en salud

Javier Balladini¹, Marina Morán¹, Claudio Zanellato¹, Rodrigo Cañibano¹, Manuel Latorre¹,
Cristina Orlandi², Enzo Rucci³, Armando De Giusti³, Remo Suppi⁴, Dolores Rexachs⁴,
Emilio Luque⁴, Emmanuel Frati⁵

¹Facultad de Informática, Universidad Nacional del Comahue

{javier.balladini, marina, claudio.zanellato, claudia.rozas, rcanibano}@uncoma.edu.ar manuel.latorre@est.uncoma.edu.ar

²Hospital Francisco Lopez Lima - orlandi.mariacristina@gmail.com

³Instituto de Investigación en Informática LIDI, Universidad Nacional de La Plata - {erucci, degiusti}@lidi.info.unlp.edu.ar

⁴Departamento de Arquitectura de Computadores y Sistemas Operativos, Universidad Autónoma de Barcelona
{remo.suppi, dolores.rexachs, emilio.luque}@uab.es

⁵Universidad Nacional de Chilecito, fefrati@undec.edu.ar

Abstract

Los grandes avances tecnológicos de los sistemas de cómputo paralelo y distribuido hacen viable nuevas soluciones a problemas. Por un lado, nos enfocamos en métricas de rendimiento. En particular, nos abocamos a métricas energéticas que cobraron enorme relevancia debido al gran tamaño y consumo energético de los sistemas de cómputo paralelo. Por otro lado, buscamos aplicar técnicas de cómputo paralelo y distribuido para brindar soluciones en el sector salud. En especial, nos orientamos a sistemas de alertas tempranas de gravedad, basadas en inteligencia artificial. Una aplicación está destinada a unidades de cuidados intensivos, que debe tratar con datos masivos, y otra aplicación se orienta a unidades de cuidados no intensivos y presenta una arquitectura distribuida, tolerante a fallos y de simple instalación y mantenimiento. Los trabajos se desarrollan en colaboración con otras universidades, y un hospital público de Argentina. La formación de recursos humanos en estas líneas está orientada al nivel de grado, maestría y doctoral.

Palabras claves: computación de altas prestaciones, eficiencia energética, big data, salud, inteligencia artificial.

1 Contexto

Las líneas de investigación aquí presentadas están enmarcadas dentro del proyecto de investigación 04/F017 "Cómputo paralelo y distribuido: métricas de rendimiento, aplicaciones de big data e inteligencia artificial", financiado por la Universidad Nacional del Comahue (UNComa), con inicio el 01/01/2021 y finalización el 31/12/2024, acreditado por el Ministerio de Educación de Argentina.

La mayoría de los temas de investigación surgieron en proyectos anteriores acreditados. El eje de aplicaciones para la salud, que involucra temáticas de inteligencia artificial y Big Data, se desarrolla en colaboración con el Hospital Francisco López Lima de General Roca (Río Negro) y con interés del Ministerio de Salud de la Provincia de Río Negro. El eje de métricas de rendimiento de los sistemas de cómputo paralelo, se desarrolla en colaboración con el Instituto de Investigación en Informática LIDI de la Universidad Nacional de La Plata, el grupo de investigación "High Performance Computing for Efficient Applications and Simulation" de la Universidad Autónoma de Barcelona, España, y con la Universidad Nacional de

Chilecito, La Rioja.

2 Introducción

Numerosas aplicaciones informáticas que requieren el procesamiento de grandes volúmenes de datos están surgiendo gracias al uso de tecnologías de cómputo paralelo y distribuido, que hasta hace unos años eran excepcionales. La masificación tecnológica y consecuente reducción de costos hizo que se pueda pensar en el desarrollo de nuevas aplicaciones que tengan un fuerte impacto social. En particular, nos interesamos principalmente en el sector de salud.

A su vez, nos enfocamos en las métricas de eficiencia computacional y energética de los sistemas de cómputo paralelo y distribuido. Desde los inicios de la computación las métricas de interés se relacionaban únicamente con la eficiencia computacional. Actualmente, las métricas de rendimiento energéticas en muchos casos superan en relevancia a la velocidad de cómputo. En particular, nos hemos orientado a la gestión del consumo energético de estos sistemas, para reducir su impacto económico, medioambiental y social.

A continuación se introduce la motivación y problemática de ambas líneas de investigación.

2.1 Aplicaciones para la salud

En una unidad de cuidados no intensivos, la metodología tradicional de atención consiste en la realización de un control de enfermería cada un determinado intervalo de tiempo fijo, idéntico para todos los pacientes. A su vez, los enfermeros no aplican un método estándar para determinar el nivel de gravedad de un paciente, que puede derivar en muertes inesperadas [6, 5]. Así, nos planteamos la siguiente pregunta: ¿Podemos organizar y optimizar los recursos, seleccionando y clasificando a los pacientes en diferentes niveles de riesgos para una correcta asignación de la atención?

Un problema similar ocurre en las unidades de cuidados intensivos, en donde la

metodología tradicional es proclive a errores humanos, a detectar tarde el deterioro de los pacientes, y a la pérdida de datos entre registros de enfermería. En este caso, la pregunta que nos hacemos es: ¿Podemos crear un sistema de soporte a la decisión clínica basado en el procesamiento en tiempo real de señales fisiológicas y otros datos clínicos?. Las soluciones se orientan a sistema expertos de detección automática, temprana y progresiva del deterioro de pacientes, tal como los propuestos en [1, 4, 7].

2.2 Métricas de rendimiento - eficiencia energética en HPC

Los sistemas de cómputo paralelo se construyen cada vez con un mayor número de unidades de procesamiento, causando un aumento de la probabilidad de fallos. A su vez, aunque las nuevas unidades de procesamiento tienen mayor eficiencia energética, como los sistemas son cada vez más grandes, comunmente también aumenta el consumo energético total. En este contexto, nos planteamos la siguiente pregunta de investigación: ¿Podemos predecir el consumo energético y ayudar a la toma de decisiones o sintonización del sistema para gestionar la energía ante la ocurrencia de fallos?

A poco tiempo de arribar a la era exaescala, la tolerancia a fallos y el consumo energético se han identificado como los dos mayores desafíos a enfrentar [3]. En consecuencia, buscamos desarrollar metodologías, modelos y software para gestionar el consumo energético, en especial al utilizar mecanismos de tolerancia a fallos en máquinas paralelas de tipo cluster.

3 Líneas de investigación

El eje central de nuestra investigación es desarrollar metodologías, modelos y soluciones informáticas para colaborar en la resolución de problemas de cómputo paralelo y distribuido, que puedan tener una alta demanda computacional e impacto social en

el campo de la salud, y en la reducción del consumo energético de sistemas de HPC.

3.1 Aplicaciones para la salud

ALERTAR: proponemos una herramienta, denominada ALERTAR, para la vigilancia y alerta temprana de gravedad en unidades de cuidados no intensivos. Nuestro objetivo es construir un sistema distribuido sobre dispositivos móviles, que implemente modelos computacionales de alertas tempranas de diferentes enfermedades, inicialmente basados en el conocimiento de personal experto en salud, y posteriormente mejorado mediante técnicas de aprendizaje automático. La complejidad de la arquitectura del sistema está en lograr un sistema seguro y resiliente (el sistema continúa brindando servicios en caso de fallos en la red y los dispositivos), y simple de instalar y mantener (no requiere el uso de servidores estándar en los hospitales).

UCI: Proponemos un sistema que intenta emular el comportamiento de un médico intensivista experto, dando recomendaciones para la toma de decisiones clínicas, con el objetivo de reducir la incertidumbre sobre el diagnóstico, las opciones de tratamiento y el pronóstico. La solución requiere la aplicación de técnicas de cómputo paralelo y distribuido para procesamiento en tiempo real de algoritmos de inteligencia artificial sobre grandes volúmenes de datos.

3.2 Métricas de rendimiento - consumo energético en HPC

Nos centramos en el desarrollo de metodologías, modelos y construcción de software para administrar y gestionar el consumo de energía y prestaciones computacionales de sistemas de cómputo paralelo.

4 Resultados y objetivos

4.1 Aplicaciones para la salud

ALERTAR: Mejoramos el diseño para superar problemas de seguridad, y para permitir la extensión de su funcionalidad, en especial para el soporte de múltiples enfermedades. Se realizaron pruebas de concepto del nuevo diseño. El objetivo en curso consiste en completar el nuevo diseño e implementarlo. El artículo [2] cubre parcialmente los avances.

UCI: Hemos desarrollado un prototipo y estamos optimizando el sistema para aumentar su rendimiento y reducir los requerimientos de hardware. En el último año se terminó un software para análisis eficiente de la curva de electrocardiograma.

4.2 Métricas de rendimiento - consumo energético en HPC

Actualmente, nuestro principal objetivo es la gestión energética en mecanismos de tolerancia a fallos basados en checkpoints. Propusimos un modelo para estimar el consumo energético de operaciones de checkpoint y restart, y un método para su construcción. Ideamos estrategias para checkpoints no coordinados que, al momento de un fallo de un nodo, permiten gestionar y reducir el consumo energético de los nodos que no han fallado.

Se construyó un modelo energético y un simulador que permite evaluar las estrategias, contemplando actualmente operaciones no bloqueantes y esperas en cascada causadas por dependencias entre procesos. El próximo objetivo es desarrollar un planificador para un sistema GNU/Linux que implemente el modelo. Los resultados se encuentran publicados en [9, 10, 8]

5 Formación de recursos humanos

El equipo de trabajo tiene un Doctor y un Magíster. El personal en formación está compuesto por una estudiante de Doctorado (a punto de presentar su tesis), un estudiante de Maestría, y 4 estudiantes de grado realizando su tesis de licenciatura. En 2023 se finalizó una tesis de licenciatura sobre el procesamiento eficiente de señales de electrocardiograma.

References

- [1] S. Balaji, M. Patil, and C. McGregor. A cloud based big data based online health analytics for rural nicus and picus in india: Opportunities and challenges. In 2017 IEEE 30th International Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS), pages 385–390, 2017.
- [2] Rodrigo S Cañibano, Santino Castagno, Mariano Conchillo, Guillermo Chiarotto, Claudia Rozas, Claudio Zanellato, Cristina Orlandi, and Javier Balladini. Towards a resilient e-health system for monitoring and early detection of severity in hospitalized patients during a pandemic. In X Jornadas de Cloud Computing, Big Data & Emerging Topics (La Plata, 2022), 2022.
- [3] Franck Cappello, Al Geist, William Gropp, Sanjay Kale, Bill Kramer, and Marc Snir. Toward exascale resilience: 2014 update. *Supercomputing Frontiers and Innovations*, 1(1), 2014.
- [4] Jagreet Kaur and Dr. Kulwinder Singh Mann. AI based HealthCare platform for real time, predictive and prescriptive analytics using reactive programming. *Journal of Physics: Conference Series*, 933:012010, jan 2018.
- [5] J-R Lee, E-M Kim, and et al. Kim, S-A. A systematic review of early warning systems' effects on nurses' clinical performance and adverse events among deteriorating ward patients. *J Patient Saf*, 2018. Epub ahead of print 25 April 2018.
- [6] Xuelian Liao, Bo Wang, and Yan Kang. Novel coronavirus infection during the 2019–2020 epidemic: preparing intensive care units—the experience in sichuan province, china. *Intensive care medicine*, 46(2):357–360, 2020.
- [7] Fernando López-Martínez, Edward Rolando Núñez-Valdez, Vicente García-Díaz, and Zoran Bursac. A case study for a big data and machine learning platform to improve medical decision support in population health management. *Algorithms*, 13(4), 2020.
- [8] M. Morán, J. Balladini, D. Rexachs, and E. Luque. Prediction of energy consumption by checkpoint/restart in hpc. *IEEE Access*, 7:71791–71803, 2019.
- [9] Marina Morán, Javier Balladini, Dolores Rexachs, and Enzo Rucci. Towards management of energy consumption in hpc systems with fault tolerance. In 2020 IEEE Congreso Bienal de Argentina (ARGENCON), pages 18, 2020.
- [10] Marina Morán, Javier Balladini, Dolores Rexachs, and Enzo Rucci. Exploring energy saving opportunities in fault tolerant hpc systems. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 185:104797, 2024.