

Aplicaciones para la salud y métricas de rendimiento en sistemas paralelos y distribuidos

Javier Balladini¹, Marina Morán¹, Claudio Zanellato¹, Rodrigo Cañibano¹, Belén Casanova¹, Mariano Conchillo¹, Cristina Orlandi², Enzo Rucci³, Armando De Giusti³, Remo Suppi⁴, Dolores Rexachs⁴, Emilio Luque⁴, Emmanuel Frati⁵

¹ Facultad de Informática, Universidad Nacional del Comahue
{javier.balladini, marina, claudio.zanellato, rcanibano}@fi.uncoma.edu.ar
{maria.casanova, mariano.conchillo@est.fi.uncoma.edu.ar}

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

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

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

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

Resumen

Los grandes avances tecnológicos de los sistemas de cómputo paralelo y distribuido hacen viable nuevas soluciones a problemas. Por un lado, nos enfocamos en la mejora de métricas relacionadas al consumo de energía durante los periodos de recuperación de fallos en sistemas de cómputo de altas prestaciones de tipo cluster. 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. Una aplicación está destinada a Unidades de Cuidados Intensivos, que debe tratar con datos masivos en tiempo real, y otra aplicación tiene como fin la clasificación del nivel de gravedad de pacientes en salas de internación general, que presenta una arquitectura distribuida, resiliente y de simple administración. 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 tecnicatura, grado, maestría y doctoral.

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

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 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.

1. Introducción

Numerosas aplicaciones informáticas están surgiendo gracias a la mejora y reducción de costos de las tecnologías de cómputo paralelo y distribuido. Nos interesamos principalmente en el sector de salud, un campo de gran impacto social, que puede verse altamente beneficiado con soluciones de software basadas en estas tecnologías.

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 el rendimiento computacional. Sin embargo, desde hace algunos años, las métricas de rendimiento energéticas en muchos casos las han superado en relevancia. El consumo energético es muy importante ya que produce fuertes impactos en lo económico, medioambiental y social.

A continuación se detallan la motivación y problemática específica de cada línea de investigación desarrollada.

1.1 Aplicaciones para la salud

Unidad de Cuidados Intensivos

Una Unidad de Cuidados Intensivos (UCI) provee cuidados continuos y rigurosos a personas adultas críticamente enfermas que pueden beneficiarse de tratamiento, y da un buen morir a pacientes irrecuperables. Los datos de los pacientes involucran datos clínicos de baja frecuencia y flujos de datos fisiológicos de alta frecuencia generados por el equipamiento médico. En una UCI típica, los enfermeros completan manualmente datos en formularios, registrando datos clínicos y fisiológicos. Los datos fisiológicos se obtienen por observación de las pantallas del equipamiento médico a intervalos de tiempo que definen los médicos para cada paciente. El equipamiento médico emite alertas cuando hay riesgo en la salud del paciente, basándose en mediciones de

parámetros. Luego, los médicos analizan los datos de los formularios y dan a los enfermeros indicaciones de tratamientos.

Los principales problemas que ocurren en las UCIs típicas son: (a) gestión de la información es proclive a errores humanos, (b) pérdida de datos entre registros de enfermería, (c) detección tardía del deterioro de la salud de los pacientes. Las causas tienen origen en el tratamiento manual de la información (lento y propenso a errores), y cuyos efectos incluyen diagnósticos imprecisos o incorrectos o retrasados, inconsistencias en la información, menos datos para investigaciones médicas, y mayores necesidades de recursos humanos. En la mayoría de las UCIs del país, no hay médicos intensivistas durante las 24hs, y hay sobrecarga laboral, impactando negativamente en la salud de los pacientes.

Las soluciones se orientan a sistemas expertos de detección automática, temprana y progresiva del deterioro de pacientes, tal como los propuestos en [1, 2, 3].

Detección temprana de severidad en pacientes en internación general

La pandemia del SARS-COV-2 ha puesto de manifiesto la falta de preparación del sistema sanitario para afrontar este tipo de situaciones. Los centros de salud se vieron desbordados por el aumento repentino de la demanda. El recurso humano especializado se hizo escaso, agravado por contagios del propio personal, lo que provocó que dejaran de prestar servicios temporalmente.

En este contexto, la metodología tradicional de médicos y enfermeras debe optimizarse para permitir la atención de un mayor número de pacientes sin reducir la calidad de la atención. Para organizar y optimizar los recursos es posible utilizar el método de triaje, método que consiste en la selección y clasificación de pacientes en diferentes niveles de gravedad para lograr una correcta asignación de los cuidados. El triaje se aplicó tempranamente en China [4] durante la

emergencia sanitaria de pacientes con COVID-19 mediante la adaptación de uno de los sistemas de alerta temprana más conocidos y validados. El método mejora el rendimiento del personal, reduciendo los controles en pacientes estables, aumentándolos en pacientes graves y reduciendo la mortalidad hospitalaria inesperada en áreas de internación general.

Si bien el triaje se puede realizar mediante cálculos manuales, el proceso sería propenso a errores y aumentaría considerablemente la carga de trabajo del personal de salud, lo que limitaría el beneficio potencial del método. Para mejorar la calidad asistencial, nuestro grupo de investigación propone un sistema distribuido y resiliente que realice un triaje automático.

1.2 Métricas de rendimiento - eficiencia energética en HPC

La computación de alto rendimiento (HPC) sigue aumentando su rendimiento computacional y su eficiencia energética. Por ejemplo, el superordenador Frontier, la supercomputadora más rápida del mundo en el ranking Top500, presenta 1.102 PFlops y 52 GFlops/watts frente a los 442 PFlops y 15 GFlops/watt de su predecesor, Fugaku. Sin embargo, aunque la eficiencia energética aumenta, también se ha ido incrementando la demanda total de potencia debido al aumento del tamaño de las máquinas. En particular, Fugaku demanda casi 30 MW, aproximadamente lo mismo que consume una ciudad de 400.000 habitantes.

En estas máquinas, también se está aumentando en gran medida el número de unidades de procesamiento, lo que causa la disminución de la confiabilidad del sistema. Así, el consumo energético y la tolerancia a fallos se han identificado como los dos mayores desafíos a enfrentar en la actual era exaescala [5, 6, 7, 8], y es en estos dos desafíos que nos centramos.

2. 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, con alto impacto social en el campo de la salud, y en la reducción del consumo energético de sistemas de HPC.

2.1 Aplicaciones para la salud

UCI: Nuestro sistema 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. A diferencia de otras alternativas, nuestro objetivo se orienta a la construcción de un sistema multihospitalario (con el fin de incrementar el volumen de datos y consecuente extracción de conocimiento) con soporte de telemedicina, y que integre componentes de software libre maduros, que nosotros optimizamos para nuestro dominio.

Detección temprana de severidad en pacientes en internación general: 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 implementar y mantener (no requiere el uso de servidores estándar en los hospitales).

2.2 Métricas de rendimiento - eficiencia energética 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. Actualmente, nuestro principal objetivo es la gestión energética en mecanismos de tolerancia a fallos basados en checkpoints.

3 Resultados y objetivos

3.1 Aplicaciones para la salud

UCI: En [9] presentamos un análisis del estado general de la UCI del hospital Francisco López Lima, y la propuesta del diseño de alto nivel del sistema. En [10] presentamos el diseño de la infraestructura del sistema de procesamiento de reglas clínicas y un prototipo. En [11] propusimos la herramienta como mejora de la prestación de servicios integrados de cuidados intensivos de la salud. En [12] presentamos una optimización de la administración de datos de curvas fisiológicas. En el último año se terminó un software para análisis eficiente de la curva de electrocardiograma. Próximos objetivos: encontrar patologías en el electrocardiograma, continuar con el desarrollo de hardware y software para extraer datos del equipamiento médico, manejo de errores en datos fisiológicos, optimización de la infraestructura de datos masivos de tiempo real para el procesamiento de reglas clínicas, y el desarrollo de una aplicación para la interacción del sistema con médicos y enfermeros.

Detección temprana de severidad en salas de internación general: Se desarrolló una versión básica del sistema. Su diseño fue pensado para producir un desarrollo rápido, por lo que posteriormente comenzamos a trabajar en un nuevo diseño para superar limitaciones en aspectos de seguridad, y para permitir la extensión de su

funcionalidad, en especial para el soporte de nuevas enfermedades. Parte del nuevo diseño fue publicado en [13]. Se realizaron pruebas de concepto del nuevo diseño, que resta publicar.

Próximos objetivos: completar el nuevo diseño e implementarlo.

3.2 Métricas de rendimiento - consumo energético en HPC

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 [14], presentamos una metodología para predecir el consumo energético producido por el método de checkpoint coordinado remoto, y en [15] expusimos un análisis de los factores que afectan el consumo energético de operaciones de checkpoint y restart en clusters. En [16] propusimos un modelo para estimar el consumo energético de operaciones de checkpoint y restart, y un método para su construcción. En [17] presentamos 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 también un modelo energético y un simulador que permite evaluar las estrategias. Se completó la funcionalidad con operaciones no bloqueantes y esperas en cascada causadas por dependencias entre procesos [18]. Próximos objetivos: desarrollar un planificador para un sistema GNU/Linux que implemente el modelo.

4 Formación de recursos humanos

El equipo de trabajo de la Universidad Nacional del Comahue tiene un Doctor y un Magíster, una estudiante de Doctorado en etapa de escritura de la tesis, y un estudiante de Maestría. En 2021 se finalizó una tesis de grado sobre el procesamiento eficiente de señales de electrocardiograma.

Referencias

- [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) (2017), pp. 385-390.
- [2] 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 (2018), pp. 012010.
- [3] 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).
- [4] Xuelian Liao, Bo Wang, and Yan Kang, "Novel coronavirus infection during the 2019--2020 epidemic: preparing intensive care units-the experience in Sichuan Province, ...", Intensive care medicine 46, 2 (2020), pp. 357--360.
- [5] Aurelien Bouteiller, Franck Cappello, Jack Dongarra, Amina Guermouche, Thomas Héroult, and Yves Robert, "Multi-criteria checkpointing strategies: Response-time versus resource utilization", in European Conference on Parallel Processing (2013), pp. 420--431.
- [6] Mohammed El Mehdi Diouri, Olivier Glück, Laurent Lefèvre, and Franck Cappello, "Ecofit: A framework to estimate energy consumption of fault tolerance protocols for hpc applications", in Proceedings of the 13th IEEE/ACM International Symposium on Cluster, Cloud, and Grid Computing (2013), pp. 522--529.
- [7] Yongpeng Liu and Hong Zhu, "A survey of the research on power management techniques for high-performance systems", Software: Practice and Experience 40, 11 (2010), pp. 943--964.
- [8] 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).
- [9] 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).
- [10] Javier Balladini, Pablo Bruno, Rafael Zurita, and Cristina Orlandi, "An Automatic and early detection of the deterioration of patients in Intensive and Intermediate Care Units", Journal of Computer Science and Technology 18, 03 (2018), pp. e25.
- [11] Javier Balladini, Pablo Bruno, Rafael Zurita, Cristina Orlandi, Remo Suppi, Dolores Rexachs, and Emilio Luque, "A tool for improving the delivery of integrated intensive health care performance.", International Journal of Integrated Care 19, 4 (2019).
- [12] Rodrigo Cañibano, Claudia Rozas, Cristina Orlandi, and Javier Balladini, "Data Management Optimization in a Real-Time Big Data Analysis System for Intensive Care", in Conference on Cloud Computing, Big Data & Emerging Topics (2020), pp. 93--107.
- [13] Cañibano, R. S., Castagno, S., Conchillo, M., Chiarotto, G., Rozas, C., Zanellato, C., ... & Balladini, J. (2022). 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).
- [14] 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).
- [15] Marina Morán, Javier Balladini, Dolores Rexachs, and Emilio Luque, "Factores que afectan el consumo energético de operaciones de checkpoint y restart en clusters", XXIV Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC 2018) (2018).
- [16] M. Morán, J. Balladini, D. Rexachs, and E. Luque, "Prediction of Energy Consumption by Checkpoint/Restart in HPC", IEEE Access 7 (2019), pp. 71791-71803.
- [17] Marina Morán, Javier Balladini, Dolores Rexachs, and Enzo Rucci, "Towards Management of Energy Consumption in HPC Systems with Fault Tolerance", in 2020 IEEE Congreso Bial de Argentina (ARGENCON) (2020), pp. 1-8.
- [18] Morán, M., Balladini, J., Rexachs del Rosario, D., & Rucci, E. (2022). Some Issues to Consider in the Management of Energy Consumption in HPC Systems with Fault Tolerance. In X Jornadas de Cloud Computing, Big Data & Emerging Topics (La Plata, 2022).