

# Procesamiento Paralelo de Aplicaciones Numéricas de Alto Rendimiento

Fernando Tinetti, Armando De Giusti, Fernando Romero, Diego Encinas, Emmanuel Frati

**Instituto de Investigación en Informática LIDI (III-LIDI)**

**Facultad de Informática – UNLP**

{ftinetti, degiusti, fromero, dencinas,efrati}@lidi.info.unlp.edu.ar,

## CONTEXTO

Esta línea de Investigación está dentro del proyecto “Arquitecturas Multiprocesador Distribuidas. Modelos, Software de Base y Aplicaciones” acreditado por el Ministerio de Educación y de proyectos específicos apoyados por organismos nacionales e internacionales,

En el tema hay cooperación con varias Universidades de Argentina y se está trabajando con Universidades iberoamericanas con apoyo de CyTED y AECID.

Se participa en iniciativas como LAGrid y EELA2 y se tiene financiamiento de la Fundación YPF, de Telefónica de Argentina e IBM.

Por último a partir del año 2009, los temas del proyecto están incluidos en el programa Pablo Neruda de intercambio de Profesores y Alumnos de Doctorado entre Universidades de América Latina y Europa.

## RESUMEN

El foco de la investigación se centra en temas específicos de procesamiento paralelo, orientados a la resolución de aplicaciones numéricas de alto rendimiento. Naturalmente, se deben tener en cuenta por un lado las aplicaciones con todas sus características, como la de dependencias de datos y el hardware de procesamiento con las suyas, como la memoria distribuida. El objetivo final siempre es el de optimización de rendimiento.

Estos temas abarcan el desarrollo de patro-

nes de resolución de clases de algoritmos paralelos, la utilización y eventual actualización de una biblioteca de sincronización de relojes distribuidos ya implementada y la transformación y optimización de los algoritmos paralelos de álgebra lineal sobre clusters, considerando la tecnología de procesadores de múltiples núcleos (multicores) que emerge actualmente.

Desarrollar software de base para clusters de multicores, tratando de optimizar el uso del hardware disponible en las arquitecturas, suponiendo diferentes modelos de programación paralela y diferentes esquemas o paradigmas de resolución de aplicaciones.

**Keywords:** *Sistemas Paralelos. Paradigmas de programación paralela. Multicores. Cluster, Multicluster, Grid y Cloud Computing. Modelos y predicción de performance. Scheduling. Virtualización. Aplicaciones.*

## 1. INTRODUCCION

Numerosas áreas científicas y de la industria requieren la utilización de paralelismo para la resolución de aplicaciones de cómputo intensivo. Entre ellas pueden citarse simulaciones, modelización, optimización discreta, análisis molecular, búsquedas en árboles, aprendizaje en redes neuronales, tratamiento de imágenes, reconocimiento de patrones, procesamiento de consultas en BD, etc.

A esta situación conocida, se le ha sumado en los últimos años el cambio tecnológico que significa la evolución hacia procesado-

res de múltiples núcleos. Esta tendencia de la industria (impuesta por el consumo de energía y la disipación de calor) produce un nuevo modelo de arquitectura de base, donde coexisten la memoria compartida y la memoria distribuida obligando, en cierta forma, a evaluar el procesamiento Paralelo (algoritmos, lenguajes, sistemas operativos y primitivas de sincronización y comunicación).

En esta etapa del desarrollo de la industria informática, el paralelismo ha pasado a ser absolutamente prioritario y la máquina de Von Neumann no existe más como modelo real de procesamiento: es necesario concebir un nuevo esquema fundamental, basado en procesadores de múltiples núcleos. Esto significa una potenciación de los esquemas MIMD (Multiple Instruction – Multiple Data streams) característicos de las arquitecturas distribuidas y la necesidad de investigar soluciones tecnológicas en todos los niveles de software, que exploten las nuevas arquitecturas.

Aunque se han publicado numerosas experiencias específicas de aplicaciones, aún quedan por definir metodologías y el avance en el estudio de factibilidad de bibliotecas optimizadas. Dentro de este estudio, se considera importante definir el alcance y los límites de rendimiento posible para clusters de multicores, donde se deben combinar dos modelos de paralelismo y las redes de interconexión de los nodos del cluster. Aunque las publicaciones se han concentrado en redes de interconexión para cómputo paralelo de alto rendimiento (Myrinet, Infiniband, Quadrics, etc.), se considera importante estudiar las redes de más bajo costo y las posibles optimizaciones para su utilización en clusters, como Gb/s Ethernet y aún la de 10 Gb/s Ethernet, que aún no tiene gran disponibilidad en el mercado pero se espera que tenga una evolución similar a la de Gb/s.

En el caso específico de aplicaciones numéricas, hay una gran base instalada de aplicaciones que están en producción y que han quedado obsoletas desde muchos puntos de vista. Específicamente deben ser analizadas

desde la perspectiva de cómputo paralelo en multicores y posiblemente también su adaptación para clusters. En todos los casos, se parte de una base relativamente compleja, dado que mucho del software numérico en producción se ha desarrollado sin tener en cuenta muchas de las herramientas y metodologías de ingeniería de software actuales. Y en algunos casos, se ha limitado estrictamente a la implementación directa de métodos computacionales/numéricos para simulaciones físicas/químicas.

## 2. LINEAS DE INVESTIGACION Y DESARROLLO

En términos generales, todas las líneas de investigación y desarrollo se pueden relacionar con al menos una de los temas de investigación relacionados con el procesamiento paralelo de aplicaciones numéricas de alto rendimiento:

- ❖ Aplicaciones con características de requerimientos de alto rendimiento. Caracterización de procesamiento en cuanto a identificación de requerimientos y dependencias de datos en los cálculos.
- ❖ Procesamiento numérico: características de las arquitecturas de procesamiento.
- ❖ Procesamiento paralelo: cómputo en MIMD de memoria compartida y en MIMD de memoria distribuida. Modelos de comunicación y sincronización.

Más específicamente, las líneas de investigación y desarrollo que se pueden identificar son:

- ❖ Arquitectura de procesadores multicore. Software de base. Multithreading sobre multicore
- ❖ Clusters de multicores: arquitectura de los nodos y de la red de interconexión.
- ❖ Modelos de predicción de rendimiento para arquitecturas híbridas (con memoria compartida y memo-

- ria distribuida). Aplicación a clusters de multicores.
- ❖ Patrones de resolución paralela de problemas sobre clusters de multicores.
  - ❖ Paradigmas, Modelos de comunicación y sincronización y Lenguajes para programación paralela.
  - ❖ Análisis de rendimiento utilizando relojes distribuidos. Alcance de la precisión y exactitud.
  - ❖ Métricas de eficiencia en algoritmos paralelos sobre multicores, y clusters de multicores.
  - ❖ Análisis de complejidad en algoritmos numéricos paralelos (en particular de álgebra lineal), considerando procesadores de múltiples núcleos (potencialmente heterogéneos).
  - ❖ Caracterización de rendimiento de cómputo y de comunicaciones en clusters.
  - ❖ Optimización y/o desarrollo de rutinas y/o bibliotecas de comunicación específicamente optimizadas para clusters de multicores.
  - ❖ Identificación de patrones de cómputo y comunicación que optimizan el cómputo paralelo.
  - ❖ Aplicación de los patrones de programación paralela para los problemas de álgebra lineal.
  - ❖ Mantenimiento y optimización de una biblioteca de Algebra Lineal Paralela sobre clusters de procesadores de múltiples núcleos.

### 3. RESULTADOS OBTENIDOS / ESPERADOS

Algunos de los resultados de las líneas de investigación enumeradas anteriormente son orientados a definir una metodología o conceptos importantes para el desarrollo de programas paralelos o la optimización de rendimiento. Otros, sin embargo, están orientados a software bien definido como

bibliotecas, tanto de cómputo numérico en paralelo como de comunicaciones. En todos los casos, explícita o implícitamente el objetivo es optimizar el uso de los recursos disponibles en un cluster (posiblemente de nodos multicore) y, por lo tanto, optimizar el rendimiento obtenido para resolver aplicaciones.

Algunos de los resultados a los cuales se pretende llegar son:

- ✓ Identificar patrones de resolución de clases de problemas en cómputo paralelo.
- ✓ Mantener y adaptar una biblioteca de sincronización de relojes distribuidos, enfocada a arquitecturas de cluster.
- ✓ Completar el desarrollo, mantener y optimizar una biblioteca de álgebra lineal en paralelo optimizada para cómputo en clusters, adecuando las funciones a los clusters de procesadores de múltiples núcleos.
- ✓ Identificar los problemas de rendimiento del procesamiento paralelo en clusters de nodos multicores y proveer soluciones alternativas.
- ✓ Identificar los problemas de rendimiento de las comunicaciones y su efecto en el rendimiento de los programas paralelos. Identificar la factibilidad de técnicas de optimización como la minimización de la latencia y el solapamiento de cómputo con comunicaciones.

### 4. FORMACION DE RECURSOS HUMANOS

En esta línea de I/D existe cooperación a nivel nacional e internacional. Hay 4 Investigadores realizando su Doctorado en Argentina y 1 en el exterior. Asimismo hay 3 Tesistas de Maestría y 2 de Especialista en curso, y 2 alumnos avanzados están trabajando en su Tesina de Grado de Licenciatura.

En cooperación con las Universidades miembros del proyecto CyTED “Tecnología Grid como motor de desarrollo regio-

nal” se ha implementado una Especialización en Cómputo de Altas Prestaciones y Tecnología Grid que se inició en 2007 en la UNLP con Profesores europeos y de las 4 Universidades vinculadas al proyecto. En 2009 se ha iniciado la Maestría en Cómputo de Altas Prestaciones con alumnos de diferentes Universidades del país y del exterior.

## 5. BIBLIOGRAFIA

1. Baiardi, S. Chiti, P. Mori, L. Ricci. "Integrating Load Balancing and Locality in the Parallelization of Irregular Problems", *Future Generation Computer Systems*, Elsevier Science B.V., Vol 17, 2001, pp 969-975.
2. Burger, T. W., Intel Multi-Core Processors: Quick Reference Guide. [http://cachewww.intel.com/cd/00/00/23/19/231912\\_231912.pdf](http://cachewww.intel.com/cd/00/00/23/19/231912_231912.pdf)
3. Chai, L., Qi Gao, Dhableswar K. Panda. "Understanding the Impact of Multi-Core Architecture in Cluster Computing: A Case Study with Intel Dual-Core System". *IEEE International Symposium on Cluster Computing and the Grid 2007 (CCGRID 2007)*, pp. 471-478 (May 2007).
4. Dongarra J, Foster I, Fox G, Gropp W, Kennedy K, Torczon L, White A. "The Sourcebook of Parallel Computing". Morgan Kauffman Publishers. Elsevier Science, 2003.
5. Grama A, Gupta A, Karypis G, Kumar V. "Introduction to parallel computing". Second Edition. Pearson Addison Wesley, 2003.
6. Jordan H, Alaghand G. "Fundamentals of parallel computing". Prentice Hall, 2002.
7. Kurmann D, F. Rauch, M. Stricker. "Cost/ Performance Tradeoffs in Network Interconnects for Clusters of Commodity PCs". Technical Report 391, Swiss Federal Institute of Technology Zurich, Institute for Computer Systems, January 2003
8. Mattson T., B. Sanders, B. Massingill. "Patterns for Parallel Programming". Addison Wesley Professional, 2004.
9. Mc. Cool, M., "Programming models for scalable multicore programming" <http://www.hpcwire.com/features/17902939.html>, 2007.
10. Olszewski, M., Jason Ansel, Saman Amarasinghe. "Kendo: Efficient Deterministic Multithreading in Software". *Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems (ASPLOS '09)*
11. Siddha, S., Venkatesh Pallipadi, Asit Mallick. "Process Scheduling Challenges in the Era of Multicore Processors" *Intel Technology Journal*, Vol. 11, Issue 04, November 2007.
12. Snir, M. Parallel programming patterns. <http://www.cs.uiuc.edu/homes/snir/PPP/>
13. Tinetti F, Romero F, De Giusti A "Clock Synchronization in Clusters for Performance Evaluation: Numeric/ Scientific Computing." *Proceedings CSIE 2009*. Los Angeles, USA. IEEE Computer Society Order Number 3507 – Vol 2, pp. 486-490.
14. Tinetti F., López M., Cajaraville P., Rodrigues D., "Fortran Legacy Code Performance Optimization: Sequential and Parallel Processing with OpenMP", 2009 World Congress on Computer Science and Information Engineering, IEEE Computer Society, March 31 - April 2, 2009, Los Angeles/Anaheim, USA, ISBN 978-0-7695-3507-4/08, pp. 471-475.
15. Tinetti F, Wolfmann G, "Análisis de Paralelización con Memoria Compartida y Memoria Distribuida en Clusters de Nodos con Múltiples Núcleos", *Workshop de Procesamiento Distribuido y Paralelo (WPDP)*, XIV Congreso Argentino de Ciencias de la Computación, Chilecito, Argentina, ISBN: 978-987-24611-0-2, 6-10 Octubre de 2008.

16. Parallel Linear Algebra for Scalable  
Multi-core Architectures (PLASMA)  
project. University of Tennessee.  
<http://icl.cs.utk.edu/plasma/>