Arquitecturas Multiprocesador Distribuidas: Cluster, Grid y Cloud Computing.

Armando De Giusti, Fernando Tinetti, Marcelo Naiouf, Horacio Villagarcía, Oscar Bría, Franco Chichizola, Laura De Giusti, Mónica Denham, Ismael Rodriguez, Diego Montezanti, Victoria Sanz, Fabiana Leibovich, Emmanuel Frati, José Pettorutti, Adrián Pousa, Enzo Rucci

Instituto de Investigación en Informática LIDI (III-LIDI)
Facultad de Informática – UNLP
{degiusti, fernando, mnaiouf, hvw, onb, francoch, ldgiusti, mdenham, ismael, dmontezanti, vsanz, fleibovich, fefrati, Josep, apousa, erucci}@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 de América Latina y Europa en proyectos financiados por CyTED, AECID y la OEI (Organización de Estados Iberoamericanos).
Se participa en iniciativas como LAGrid, EELA y el Programa IberoTIC de intercambio de Profesores y Alumnos de Doctorado en el área de Informática.
Por otra parte, se tiene financiamiento de la Fundación YPF, Telefónica de Argentina e IBM.

Resumen

Caracterizar las arquitecturas multiprocesador distribuidas enfocadas a cluster, grid y cloud computing, con énfasis en las que utilizan procesadores de múltiples núcleos ("multicores"), con el objetivo de modelizarlas, estudiar su escalabilidad, analizar y predecir performance de aplicaciones paralelas y desarrollar esquemas de tolerancia a fallas en las mismas.

Analizar y desarrollar software de base para clusters de multicores, tratando de optimizar el rendimiento de tales arquitecturas para diferentes modelos de programación paralela y diferentes paradigmas de resolución de aplicaciones.

Es de hacer notar que este proyecto se coordina con otros dos proyectos en curso en el III-LIDI y relacionados con Algoritmos Distribuidos/Paralelos y Sistemas de Software Distribuido.

Keywords: *Sistemas Paralelos. Cluster, Multicluster, Grid y Cloud Computing. Concurrencia en datos y procesos. Paradigmas de programación paralela. Modelos y predicción de performance. Scheduling. Virtualización. Tolerancia a fallas.*

Introducción

La investigación en Sistemas Distribuidos y Paralelos es una de las líneas de mayor desarrollo en la Ciencia Informática actual [1]. En particular la utilización de arquitecturas multiprocesador configuradas en clusters, multiclusters, grids y clouds, soportadas por redes de diferentes características y topologías se ha generalizado, tanto para el desarrollo de algoritmos paralelos, la ejecución de procesos que requieren cómputo in-

tensivo y la atención de servicios WEB concurrentes [2][3][4][16].

El cambio tecnológico, fundamentalmente a partir de los procesadores multicore, ha impuesto la necesidad de investigar en paradigmas "híbridos", en los cuales coexisten esquemas de memoria compartida con mensajes [5][6].

Es importante en este contexto la modelización del comportamiento de estos sistemas paralelos, así como desarrollar nuevos paradigmas y herramientas para la programación eficiente de aplicaciones, y nuevas estructuras de datos que permitan su manejo en forma concurrente desde distintos procesos/procesadores [9].

Asimismo, aparecen nuevas líneas de I/D tales como el scheduling dinámico basado en el consumo de cada núcleo, el control en tiempo real de la frecuencia del clock de cada núcleo para optimizar consumo, la detección en bajo nivel de errores de concurrencia, el estudio y desarrollo de lenguajes y compiladores adecuados a estas arquitecturas y la detección y tolerancia a fallos utilizando dinámicamente núcleos de la misma arquitectura [8][15].

Por otra parte la heterogeneidad que caracteriza a los clusters y grids, así como a las redes de comunicaciones, se extiende a las nuevas arquitecturas multicore enfocando funcionalidades específicas para algunos núcleos, lo cual puede mejorar la performance pero al mismo tiempo complejiza el scheduling de los procesos paralelos [7][30].

La aparición de las arquitecturas tipo Cloud obliga a poner especial atención a los problemas de virtualización y predicción de performance (para la asignación dinámica de recursos). Naturalmente a mayor potencia del Cloud, también crecen las complejidades al analizar la comunicación y el acceso a memoria en arquitecturas que están distribuidas y a su vez conformadas por placas con un número variable de procesadores multicore [24][25].

Definiciones básicas

Un *procesador multicore* integra dos o más núcleos computacionales dentro de un mismo "chip" [10]. La motivación de su desarrollo se basa en incrementar el rendimiento, reduciendo el consumo de energía en cada núcleo. [17].
Un *cluster* es un sistema de procesamiento paralelo compuesto por un conjunto de computadoras interconectadas vía algún tipo de red, las cuales cooperan configurando un recurso que se ve como "único e integrado", más allá de la distribución física de sus componentes. Cada "procesador" puede tener diferente hardware y sistema operativo, e incluso puede ser un "multiprocesador" [11]. Cuando se conectan dos o más clusters sobre una red tipo LAN o WAN, se tiene un *multicluster* [12]. La configuración más simple a considerar es la conexión de clusters homogéneos sobre una red LAN o WAN, utilizando un sistema operativo común [13].

Un *Grid* es un tipo de sistema distribuido que permite seleccionar, compartir e integrar recursos autónomos geográficamente distribuidos [13]. Un Grid es una configuración colaborativa que se puede adaptar dinámicamente según lo requerido por el usuario, la disponibilidad y potencia de cómputo de los recursos conectados. El Grid puede verse como un "entorno de procesamiento virtual", donde el usuario tiene la visión de un sistema de procesamiento "único" y en realidad trabaja con recursos dispersos geográficamente [14].

Las arquitecturas tipo "Cloud" se presentan como una evolución natural del concepto de *Clusters* y *Grids*, integrando grandes conjuntos de recursos virtuales (hardware, plataformas de desarrollo y/o servicios), fácilmente accesibles y utilizables por usuarios distribuidos. Estos recursos pueden ser dinámicamente reconfigurados para adaptarse

a una carga variable, permitiendo optimizar su uso [18][19][25][26].

Aspectos de interés

- El incremento en el número de procesadores disponibles en clusters, grids y clouds obliga a poner énfasis en el desarrollo de los algoritmos de virtualización [15].
- La heterogeneidad es inevitable al componer un sistema paralelo que integra múltiples procesadores, niveles de memoria y tecnologías de comunicación [7].
- A partir de la complejidad creciente del hardware, se hace más desafiante el desarrollo de capas de software eficiente, desde el middleware hasta los lenguajes de aplicación [20][27][28].
- Los problemas clásicos de scheduling y mapeo de procesos a procesadores tienen nuevos objetivos (en particular los relacionados con el consumo) y deben considerar la posible migración de datos y procesos durante la ejecución [29].
- Los modelos de predicción de performance resultan especialmente complejos, en particular considerando que los multicores disponen de diferentes niveles de memoria y diferentes tiempos de comunicación entre núcleos, según su "distancia" en la configuración de la arquitectura [30].
- El tema de la detección y tolerancia a fallos de hardware y software se vuelve un punto crítico al operar sobre arquitecturas con gran número de procesadores, los cuales pueden reconfigurarse dinámicamente [22][23].

Líneas de Investigación y Desarrollo

Temas de Estudio e Investigación

- Arquitectura de procesadores multicore. Clusters de multicores. Software de base.
- Modelos de predicción de performance para arquitecturas tipo cluster de multicores, grids y clouds.
- Simulación de arquitecturas. Análisis de variantes en multicores y clusters de multicores.
- Nuevas técnicas de scheduling para sistemas paralelos, en particular en función del consumo de los procesadores.
- Virtualización en clusters, grids y clouds. Predicción de performance aplicada a la virtualización.
- Nuevas estructuras de datos, orientadas a procesamiento paralelo sobre clusters, grids y clouds.
- Detección de errores de concurrencia, en tiempo de ejecución.
- Procesamiento paralelo basado en GPUs. Aplicación sobre clusters de multicores.
- Cloud computing.. Análisis comparativo con cluster y grid computing para problemas paralelos de cómputo intensivo.
- Detección y Tolerancia a Fallos (de hardware y software) en clusters, grids y clouds.
- Métricas de evaluación de performance y escalabilidad para las nuevas arquitecturas paralelas, a partir del uso de procesadores de múltiples núcleos.

Investigación experimental

- Desarrollo y evaluación de aplicaciones sobre un cluster de multicores (128 núcleos).
- Desarrollo de la capa de software para virtualización del cluster de multicores para emular servicios de cloud computing.
- Simulación de variantes en las arquitecturas de multicore.
- Prueba de algoritmos de scheduling basados en balance de consumo sobre los núcleos de un cluster de multicores.

Formación de Recursos Humanos

En cooperación con Universidades iberoamericanas se ha implementado la Maestría en Cómputo de Altas Prestaciones y se continúa dictando la Especialización en Cómputo de altas Prestaciones y Tecnología GRID.
En esta línea de I/D existe cooperación a nivel nacional e internacional. Hay 9 Investigadores realizando su Doctorado, 4 realizando la Maestría y 5 alumnos avanzados están trabajando en su Tesina de Grado de Licenciatura. En 2010 se aprobaron 2 Tesis Doctorales, 1 de Maestría, 2 de Especialista y 3 Tesinas de Grado en temas del proyecto.

Bibliografía

1. Grama A, Gupta A, Karypis G, Kumar V. "Introduction to parallel computing". Second Edition. Pearson Addison Wesley, 2003.
2. 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.
3. Juhasz Z. (Editor), Kacsuk P. (Editor), Kranzlmuller D. (Editor). "Distributed and Parallel Systems: Cluster and Grid Computing". Springer; 1 edition (September 21, 2004).
4. Miller M. "Web Based applications that change the way you work online". Que Publishing. USA 2009.
5. Mc. Cool M. "Programming models for scalable multicore programming". 2007. http://www.hpcwire.com/features/17902939.html
6. Lei Chai, Qi Gao, Dhabaleswar K. Panda. "Understanding the Impact of Multi-Core Architecture in Cluster Computing: A Case Study with Intel Dual-Core System". IEEE International Symp. on Cluster Computing and the Grid 2007 (CCGRID 2007), pp. 471-478 (May 2007).
7. Suresh Siddha, Venkatesh Pallipadi, Asit Mallick. "Process Scheduling Challenges in the Era of Multicore Processors"Intel Technology Journal, Vol. 11, Issue 04, November 2007.
8. Olszewski M., Ansel J., Amarasinghe S. "Kendo: Efficient Determistic Multithreading in Software". Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems (ASPLOS '09).
9. De Giusti L. "Mapping sobre Arquitecturas Heterogéneas", Ph.D. thesis, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina, 2008.
10. AMD. "Evolución de la tecnología de múltiple núcleo". http://multicore.amd.com/es-ES/AMD-Multi-Core/resources/Technology-Evolution (2009).
11. Foster I., Kesselman C., Kaufmann M. "The Grid 2: Blueprint for a New Computing Infrastructure". The Morgan Kaufmann Series in Computer Architecture and Design. 2 edition (November 18, 2003).
12. Bertogna M. L. "Planificación dinámica sobre entornos Grid". Ph.D. thesis, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina, 2010.
13. Grid Computing and Distributed Systems (GRIDS) Laboratory - Department of Computer Science and Software Engineering (University of Melbourne). "Cluster and Grid Computing". 2007. http://www.cs.mu. oz.au/678/.
14. Grid Computing Infocentre: http://www.grid computing.com/
15. Bertogna M., Grosclaude E., Naiouf M., De Giusti A., Luque E. "Dynamic on Demand Virtual Clusters in Grids". 3rd Workshop on Virtualization in High-Performance Cluster and Grid Computing. VHPC 08 – España. Agosto 2008.
16. Ghosh S. "Distributed System. An Algorithmic Approach". Chapman & Hall/CRC Computer and Information Science Series.
17. Burger T. W. "Intel Multi-Core Processors: Quick Reference Guide". http://cachewww.intel.com/cd/00/ 00/23/19/231912_231912.pdf
18. Dikaikos M. et al. "Distributed InterNet Computing for IT and Scientific Research". Internet Computing IEEE. Vol 13, Nro. 5, pp 10-13
19. Ardissono L., Goy A., Petrone G., Segnan M. "From Service Clouds to User-centric Personal Clouds". 2009 IEEE Second International Conference on Cloud Computing.
20. Song Y., Kalogeropulos S., Tirumalai P. "Design and Implementation of a Compiler Framework for Helper Threading on Multi-core Processors". Proceedings of the 14th International Conference on Parallel Architectures and Compilation Techniques; Sept. 2005.
21. Shirako J. et al. "Compiler Control Power Saving Scheme for Multi Core Processors". LNCS Mayo 2007 – pp. 362-376.
22. Lu S., Tucek J., Qin F., Zhou Y. "AVIO: detecting atomicity violations via access interleaving invariants". SIGPLAN Not., ACM, 2006, 41, 37-48.
23. Golander A., Weiss S., Ronen R. "Synchronizing Redundant Cores in a Dynamic DMR Multicore Architecture". IEEE Transactions on Circuits and

Systems II: Express Briefs Volume 56, Issue 6, 474-478. 2009.

24. Vaquero L.M. et al. “A Break in the Clouds: Towards a Cloud Definition”. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, vol. 39, num. 1, páginas 50-55, ISSN 0146-4833. Enero 2009.
25. Foster I. “There's Grid in them thar Clouds”. 2 de Enero, 2008. http://ianfoster.typepad.com/blog/2008/01/theres-grid-in.html. Noviembre, 2010.
26. Hemsoth N. “Outsourcing Versus Federation: Ian Foster on Grid and Cloud”. 15 de Junio, 2010. http://www.hpcinthecloud.com/blogs/Outsourcing-Versus-Federation-Ian-Foster-on-Grid-and-Cloud-96326829.html. Noviembre, 2010.
27. Vázquez Blanco C., Huedo E., Montero R. S., Llorente I. M. “Elastic Management of Cluster-based Services in the Cloud”. Proceedings pp. 19-24, ACM Digital Library 2009. ISBN 978-1-60558-564-2.
28. Vázquez Blanco C., Huedo E., Montero R. S., Llorente I. M. “Dynamic Provision of Computing Resources from Grid Infrastructures and Cloud Providers”. IEEE Society Press, pp.113-120, Workshops at the Grid and Pervasive Computing Conference, GPC 2009. ISBN 978-0-7695-3677-4.
29. De Giusti L., Naiouf M., Chichizola F., Luque E., De Giusti A. E. “Dynamic Scheduling in Heterogeneous Multiprocessor Architectures. Efficiency Analysis”. Computer Science & Technology Series – XV Argentine Congress of Computer Science Selected Papers. Editores: Guillerno Simari, Patricia Pesado, José Paganini. Págs. 85-95. ISBN 978-950-34-0684-7. Editorial de la Universidad de La Plata (edulp). La Plata (Argentina). 2010.
30. De Giusti L., Chichizola F., Naiouf M., De Giusti A.E., Luque E. “Automatic Mapping Tasks to Cores - Evaluating AMTHA Algorithm in Multicore Architectures”. IJCSI International Journal of Computer Science Issues, Vol. 7, Issue 2, No 1, March 2010. ISSN (Online): 1694-0784. ISSN (Print): 1694-0814. Págs. 1-6.