

# Procesadores multi-núcleos: enorme solución y su gran problema en computación de tiempo real.

## Multi-core processors: huge solution and its big problem in real time computation.

Fredy Emanuel Mogollón Velandia  
Ingeniería de Sistemas  
Universidad Industrial de Santander  
Bucaramanga, Colombia.  
Email: fredymanuel47@gmail.com

Luisa Fernanda Pabón Jaimés  
Ingeniería de Sistemas  
Universidad Industrial de Santander  
Bucaramanga, Colombia.  
Email: luisacs07@hotmail.com

Luis Ernesto Páez Ortíz  
Ingeniería de Sistemas  
Universidad Industrial de Santander  
Bucaramanga, Colombia.  
Email: netopaez977@gmail.com

**Resumen**—La investigación de procesadores basados en un núcleo de alta frecuencia ya está completamente enterrada pues estamos en la era de procesadores multi-núcleos. En el 2006, los procesadores de 2 y 4 núcleos fueron el principio de una nueva era de arquitecturas basadas en muchos núcleos y desde ese entonces la idea fue que los procesadores evolucionaran de acuerdo al número de núcleos. La evolución de una nueva arquitectura parte con un problema, y para lograr su camino nos encontramos con problemas mayores. La implementación de procesadores multi-núcleos nace como solución al problema de la temperatura y por ende al encuentro con la limitante termal para lograr mayores frecuencias, pero a medida que se añadan más núcleos dentro del mismo procesador, nuevos problemas van surgiendo. **Palabras claves:** multi-núcleo, procesador, problema, solución, era, arquitectura, temperatura, frecuencia.

**Abstract**—The research of processors based on a high frequency core is already completely buried as we are in the era of multi-core processors. In 2006, the processors of 2 and 4 cores were the beginning of a new era of architectures based on many cores and since then the idea was that the processors will evolve according to the number of cores. The evolution of a new architecture starts with a problem, and to achieve its path we find major problems. The implementation of multi-core processors was born as a solution to the problem of temperature and therefore the encounter with the thermal limitation to achieve higher frequencies, but as more cores are added in the same processor, new problems arise. **Keywords:** multi-core, processor, problem, solution, era, architecture, temperature, frequency.

### I. INTRODUCCIÓN

No hace muchos años atrás, las computadoras se diferenciaban por la velocidad de su CPU, la cantidad de memoria instalada, la capacidad de su disco duro y poco más. Pero esto cambió de tal manera gracias al abaratamiento de los métodos de construcción y por ende su precio al consumidor final, que en la actualidad podemos contar con procesadores de hasta 8 núcleos, siendo lo más habitual tener una computadora con un procesador de doble núcleo.

La tecnología del procesador multinúcleo va mucho más allá, y además no sólo está relacionado al campo de la computación personal sino que también la podemos encontrar en otros tipos de dispositivos, tanto portátiles como fijos. Es por ello que es muy importante conocer los diferentes aspectos que la rodean.

Inicialmente los microprocesadores eran muy lentos y con poco poder de cómputo, a través de los años se mejoró su arquitectura, aumentando la frecuencia del reloj, el bus tanto de datos como de direcciones, entre otras. De esta manera, se llegó a los microprocesadores actuales que ejecutan hasta cuatro instrucciones de coma flotante en doble precisión simultáneamente, trabajando a una frecuencia de hasta 3,2 GHz. El poder de cómputo de estos microprocesadores es realmente sorprendente, sin embargo aún sigue siendo insuficiente para efectos de investigación, como el modelado del clima, computo financiero, entre otras. Los fabricantes de microprocesadores pasaron a la era de los microprocesadores pasaron a la era de los microprocesadores multi-núcleo para aumentar el poder de cómputo de sus microprocesadores, abandonando así la era en que se mejoraron los procesadores incrementando la frecuencia del reloj. Todas las arquitecturas multi-núcleo se basan en los mismos principios. Por ejemplo todas tienen una memoria principal que es compartida entre los núcleos, es decir todos tienen acceso a ella siguiendo un protocolo para evitar conflictos en el acceso a la memoria. Estas arquitecturas tienen como mínimo dos niveles de memoria cache (L1 y L2), incluso algunas tienen caché L3 compartida. Las arquitecturas multi-núcleo como lo es el procesador CELL de banda ancha, Intel Core 2 Quad, Intel Core i7, AMD Opteron y Nvidia Tesla C1060, son procesadores con un gran poder de cómputo, aunque algunos con precio muy elevado. Estas arquitecturas no son aprovechadas en su totalidad, debido a que muchos programadores aún siguen programando secuencialmente.

## II. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Es evidente que el estudio y, aún más importante, la innovación en el campo de los microprocesadores genera impactos de talla mundial. Intel company es una compañía que ha invertido millones de recursos en las líneas de investigación de multicore, por ejemplo, en el año 2006, esta compañía vislumbró con su procesador de cuatro núcleos en el marco de un desempeño óptimo (<https://diarioti.com/intel-lanza-procesadores-multi-core-de-cuatro-nucleos/12844>).

Más adelante, Intel y Microsoft despliegan firman una alianza multimillonaria con la creación de dos centros de investigación en (University of Illinois at Urbana-Champaign y University of California, Berkeley) y fijar estrategias que innoven o solucionen problemas en el ámbito de la computación.

Así las cosas, actualmente la industria ha concluido que el problema principal yace en la interferencia de núcleos a la hora de fijar tareas independientes y, por ende, la línea de investigación a la que se fijan las tareas está enfocada en esta situación que abordaremos en este artículo,

## III. MARCO TEÓRICO

Un procesador multi-núcleo es aquel que combina dos o más microprocesadores independientes en un solo paquete, a menudo un solo circuito integrado. Un dispositivo de doble núcleo contiene solamente dos microprocesadores independientes. En general, los microprocesadores multinúcleo permiten que un dispositivo computacional exhiba una cierta forma del paralelismo a nivel de thread (thread-level parallelism) (TLP) sin incluir múltiples microprocesadores en paquetes físicos separados. Esta forma de TLP se conoce a menudo como multiprocesamiento a nivel de chip (chip-level multiprocessing) o CMP.



Figure 1: Procesador Intel de 7 núcleos.

Multiprocesamiento es un Procesamiento simultáneo con dos o más procesadores en un computador. Estos procesadores

se unen con un canal de alta velocidad y comparten la carga de trabajo general entre ellos. En caso de que uno falle el otro se hace cargo. El multiprocesamiento también se efectúa en computadores de propósitos especiales, como procesadores vectoriales, los cuales proveen procesamiento simultáneo de conjunto de datos. Aunque los computadores se construyen con diversas características que se superponen, como ejecutar instrucciones mientras se ingresan y se sacan datos, el multiprocesamiento se refiere específicamente a la ejecución de instrucciones simultáneas.

Una década atrás, el mundo de la computación crecía a pasos agigantados pero, a su paso, grandes consumos de energía por estos avances preocupaban a la industria de energías. Los procesadores multicore llegaron como una solución y, por sobre todo, como una innovación para el mundo de la computación en paralelo y en general. La industria ha crecido y actualmente se tienen niveles de procesamiento exorbitantes: miles de millones de instrucciones de coma flotante por segundo en el mejor de los casos. Los procesadores multinúcleos no solo consumen niveles de energía mucho menores a la escalabilidad vertical, sino que su horizontabilidad permite el manejo de más instrucciones en menor cantidad de tiempo.

El principal problema de los procesadores multinúcleos yace en su famoso tiempo de ejecución WCET. Básicamente, WCET es una medida de tiempo de un chip de procesamiento en el peor de los casos. Esta medida de tiempo se desarrolla de manera normal en chips de un solo núcleo, sin embargo, en procesadores multinúcleos la medida tiende a variar en cada chip con incrementos en su WCET de hasta un doscientos por cientos (200%); un problema nada despreciable, puesto que representan picos exorbitantes de retardo...

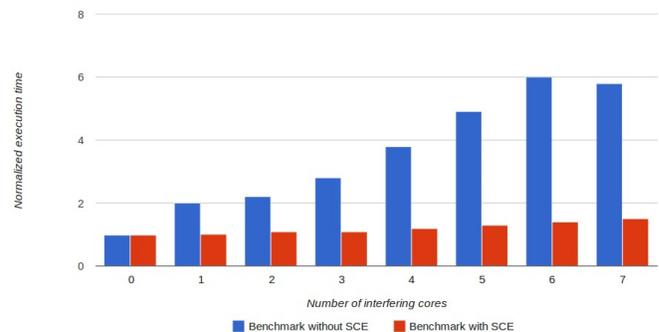


Figure 2: Tiempo WCET teórico y práctico.

La agencia Europea de Seguridad Aérea, por ejemplo, impide a sus programadores, o arquitectos de hardware, implementar arquitecturas multicore a menos que se deje muy en claro su mitigación a la interferencia entre núcleos y su WCET nuevo. Un ejemplo mundial de esto es el documento DO-178C, en el que solo se permite el uso de un solo

núcleo, en prevención a los desastres que puede causar la interferencia multicore.

La supercomputación es el término que describe la realización de cálculos numéricos a gran escala, tanto en volumen de datos como en velocidad de procesamiento, mediante el uso de ordenadores de gran potencia: los llamados “superordenadores o supercomputadores”. La razón fundamental de la importancia actual de la supercomputación está en el hecho de que el cálculo numérico es cada vez más necesario en prácticamente todos los ámbitos de nuestra actividad.

Por una parte, la supercomputación permite almacenar, manejar y analizar volúmenes de datos enormes, como los que fueron necesarios recientemente para descifrar el genoma humano. Por otra parte, la simulación de procesos mediante modelos numéricos nos permite realizar predicciones cada vez más fiables y detalladas en un gran número de problemas. Este tipo de simulaciones es de una enorme utilidad, y está presente en multitud de aplicaciones, entre las que destacamos sólo algunas. En economía, se utilizan para la predicción de la evolución futura de los mercados financieros y de valores. En la industria farmacéutica, es posible diseñar fármacos con las propiedades deseadas para combatir una determinada enfermedad, por medio del simulado por ordenador.

Desde sus inicios, la supercomputación se ha aplicado a la investigación científica, especialmente en el campo de la Física fundamental. En los años ochenta, la supercomputación empieza a aplicarse de forma general a otras ramas de la ciencia, incluyendo las ciencias de la vida. Es en los últimos años cuando el uso de la supercomputación en ciencias de la vida está siendo especialmente relevante, debido sobre todo a la explosión en información producida por las llamadas ciencias “ómicas” (genómica, epigenómica, transcriptómica, proteómica y metabolómica), y a los avances en los métodos de modelización molecular. Así como también en otras ramas como la industria e ingenierías.



Figure 3: Laboratorio Libermore EE.UU. IBM BlueGene/Q Power BQC. 17,2 petaFLOPS

### Simulaciones numéricas:

Las predicciones meteorológicas, tanto a corto como a largo plazo (cambios climáticos), se realizan también mediante simulaciones numéricas. En la industria, es posible simular

el funcionamiento de dispositivos, y por tanto optimizar su diseño antes de su fabricación, lo que conlleva un importante ahorro de costos económicos y tiempos de desarrollo. En arquitectura e ingeniería, el diseño de estructuras y de materiales se puede realizar también mediante simulaciones numéricas. Y, por último, en investigación científica básica y aplicada, la simulación está presente en todas las disciplinas, como medio complementario e incluso alternativo a la experimentación. En el pasado, los superordenadores contaban con uno -o unos pocos- procesadores de gran capacidad y velocidad, mucho más potentes que los disponibles en equipos personales como los PC's. Estos equipos realizaban un pequeño número de cálculos simultáneos, pero a una velocidad mucho mayor que en un equipo personal, por la potencia del procesador. En la actualidad, la estrategia de supercomputación es muy diferente. Los equipos consisten en grupos de varios cientos o miles de procesadores que trabajan simultáneamente, “en paralelo”. Cada uno de estos procesadores tienen una velocidad similar a la de los equipos personales actuales, que aproximadamente se duplica cada dos años.

En la actualidad la tecnología de supercomputación no sólo se aplica a gran escala. Versiones reducidas de los supercomputadores se usan en la tecnología más cotidiana: Ordenadores personales, dispositivos móviles, servidores HPC. Los ordenadores personales (incluso móviles y tablets) ya incorporan tecnología HPC: multi-core, unidades de coma flotante, unidades de proceso vectorial (SIMD), memorias de alta frecuencia.

Actualmente las aplicaciones de la supercomputación son muchísimas, van desde el almacenamiento y manejo de grandes cantidades de datos o Big Data, pasa por el análisis de datos de enfermedades, hacer mucho más rápida alguna investigación, incluso se está simultáneamente conectado con varias personas en algún video juego, que todos tengan los mismos datos, la misma resolución y el mismo contexto se da gracias a una supercomputadora.

Ahora bien, todo tiene un punto de encuentro: el multicore. El reto en todo esto consiste en emplear una solución que minimice la interferencia intercore y permita aprovechar las ventajas y recursos de los chips multicore. Afortunadamente, un grupo de investigadores (Lui Sha, Marco Caccamo, Renato Mancuso, entre otros)[1], realizaron una investigación en torno a esta problemática: la tecnología equivalente a un solo núcleo (SCE) consiste en el desarrollo de chips multicore que, de manera representativa, funcionan como chips de un sólo núcleo.

En pocas palabras SCE aborda el problema de interferencia de manera efectiva; tal afirmación la sostienen evaluaciones con Freescale P4080 realizadas por los mismos investigadores ya citados.

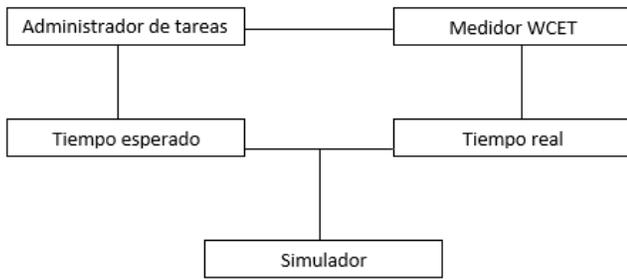


Figure 4: Prueba SCE de interferencia.

El lector se estará preguntando sobre la importancia de dicha interferencia y la celebración de su solución al menos en un campo de investigación (la aviación). Pues bien, el no tener la certeza en la estimación de tiempos de ejecución repercute tanto en simples molestias para un usuario por el manejo de procesos lento, como también fallas de comunicación de circuitos en aviación; un peligro inminente.

Ahora bien, este tema no es propio de la aviación, la población mundial hace uso de los procesadores multinúcleos. Un estudio desarrollado por la firma RBC Capital Markets ha revelado que al menos el setenta y cinco por ciento de la población mundial hace uso de teléfonos móviles. (Ver figura 5)

Por ejemplo, la familia de sistemas móviles en un chip (SOC), Snapdragon, actualmente se ha tomado el mercado de los teléfonos móviles por sus buenos rendimientos positivos en cuanto a procesamiento de datos. La mayoría de los teléfonos móviles en los que esta familia se encuentra poseen procesadores multi núcleo de al menos cuatro núcleos para rendimiento. Es claro que su diseño responde a las necesidades de uso de ordenador en tiempo real.



Figure 6: Procesador Snapdragon.

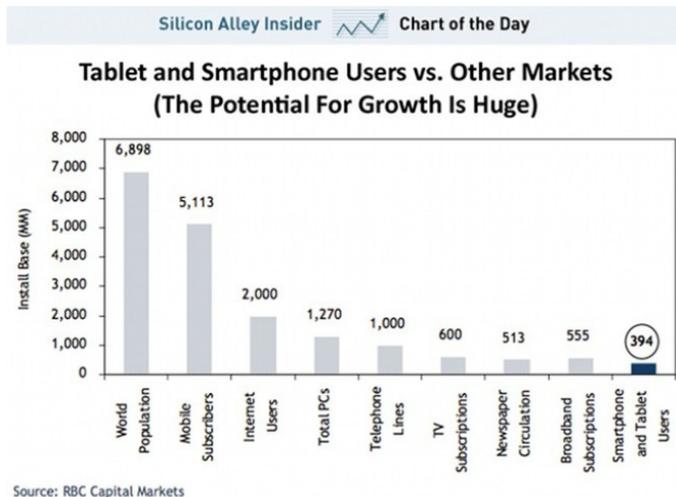


Figure 5: Uso de dispositivos móviles a nivel mundial.

¿Qué tiene que ver esto con el multi núcleo? La mayoría de los dispositivos móviles están adoptando procesamiento multinúcleo, es por eso que no hace más de cinco años los dispositivos móviles tenían problemas de sobrecalentamiento en su hardware: hacían uso de núcleo único pero de mayores frecuencias para obtener mejores resultados. El resultado era positivo en materia de velocidad, pero deficiente en materia de consumo energético.

#### IV. ESTADO DEL ARTE

La tecnología de procesadores multinúcleo constituye una alternativa para mejorar la performance a pesar de las limitaciones físicas, proponen mayores desafíos en cuanto al desarrollo de sistemas ya que se debe tener en cuenta que en el microtiempo se ejecuta más de una instrucción en el mismo equipamiento. Sin embargo, aunque la tecnología multinúcleo proporciona muchos beneficios para los sistemas en tiempo real, entre ellos, menor peso y potencia, menos requisitos de enfriamiento y mayor ancho de banda de CPU por procesador, los chips multinúcleo plantean problemas cuando los núcleos interfieren entre sí a la hora de acceder a recursos compartidos. Por esto se hicieron muchas investigaciones para encontrar una solución y ponerle fin a este problema. En un artículo la Administración Federal de Aviación de los EE. UU. (FAA), la Agencia Europea de Seguridad Aérea (EASA) y Transport Canada encontraron que la solución ideal es una interferencia de intercore certificable en un chip multinúcleo de manera que cada núcleo se pueda usar como una computadora de núcleo único. Para esto ellos en su estudio desarrollaron el paquete (SCE) paquete de tecnología Equivalente de núcleo único, que se centra en los problemas de interferencia, de esa manera cada núcleo se puede usar como si fuera un chip de un solo núcleo, lo que permite el análisis de sincronización y la certificación del software en un núcleo, independientemente del software en otros núcleos. Así lo que sus estudios mostraron fue que SCE limita con

éxito la interferencia de intercore y elimina los picos de retardo impredecibles.

## V. CONCLUSIONES FINALES

En el ámbito de las arquitecturas de procesamiento es claro que los ojos de la industria se han puesto en el procesamiento con procesadores multi núcleos, por dos razones: el aprovechamiento energético y el aprovechamiento temporal; prácticamente y teóricamente se consume menos energía y se aprovechan mejor los recursos.

El estudio que dio formación al SCE tuvo un enfoque para arquitecturas y software en el área de la aviónica, sin embargo, se nombra como una posible solución para procesadores multinúcleos en el área de los ordenadores convencionales de escritorio, lo que significaría un impacto general mundial: el 50% de la población tiene acceso a internet desde un ordenador.

La capacidad de cálculo de los superordenadores se consigue entonces disponiendo de un gran número de procesadores, que puede ampliarse paulatinamente para aumentar las prestaciones del equipo. No cabe duda de que las necesidades de supercomputación están ligadas a un desarrollo tecnológico y científico avanzado.

Generalmente, la ciencia se ha basado en la teoría y la experimentación. Pero ya hace años que a estos dos pilares se les ha sumado la supercomputación. Los supercomputadores permiten realizar cálculos, simulaciones y análisis de grandes cantidades de datos que ayudan a investigar y a encontrar respuestas que de otra manera sería imposible o muy lento encontrar.

## VI. BIBLIOGRAFÍA

- Lui Sha, Marco Caccamo, Renato Mancuso, Jung-Eun Kim, Man-Ki Yoon, Rodolfo Pellizzoni, Heechul Yun, Russell B. Kegley, Dennis R. Perlman, Greg Arundale. Richard Bradford., *Real-Time Computing on Multicore Processors*, IEEE 10.1109/MC.2016.271.

## VII. WEBGRAFÍA

- <https://marketing4ecommerce.net/usuarios-de-internet-mundo-2017>
- [http://www.sandia.gov/~ktpedre/\\_assets/documents/multicore-tech.pdf](http://www.sandia.gov/~ktpedre/_assets/documents/multicore-tech.pdf)
- <http://ieeexplore.ieee.org/document/7562325/>
- <http://www.sebbm.es/web/es/divulgacion/rincon-profesor-ciencias/articulos-divulgacion-cientifica/1328-la-supercomputacion-una-poderosa-herramienta-para-la-investigacion-en-bioquimica-y-biologia-molecular>

- <https://eps.ua.es/es/master-ingenieria-informatica/noticias/supercomputacion-y-sus-aplicaciones-para-el-profesional-de-la-ingenieria-informatica.html>
- <http://www.elcultural.com/revista/ciencia/10-respuestas-a-la-supercomputacion/9153>
- <https://www.qualcomm.com/products/snapdragon/processors/835>

## REFERENCES

- [1] LUI SHA, MARCO CACCAMO, RENATO MANCUSO, JUNG-EUN KIM, MAN-KI YOON, RODOLFO PELLIZZONI, HEECHUL YUN, RUSSELL B. KEGLEY, DENNIS R. PERLMAN, GREG ARUNDALE. RICHARD BRADFORD, *Real-Time Computing on Multicore Processors*, *IEEE 10.1109/MC.2016.271*.