

# Metodología de Investigación en Microporcesadores

Pedro Marcuello

Intel Barcelona Research Center

Aula Empresa, Facultat d'Informàtica de Barcelona, February 2010

© Intel Corporation, 2010

## Nota del presentador

Esta presentación solo muestra opiniones personales y no las de Intel Corporation

2

Methodology for Research in Microprocessors

## Agenda del curso

- Introducción y futuras tendencias en microarquitectura
- Ciclo de vida en el diseño de microporcesadores
- Investigación en microporcesadores
- Arquitecturas multi-core
- Programación paralela
- Systems-on-Chip
- Reducción de consumo
- Fiabilidad
- Máquinas virtuales co-diseñadas

Qué se hace ahora?

3

Methodology for Research in Microprocessors

Única

## Objetivo de este bloque

- Mostrar cómo es el trabajo de un investigador
  - Qué tareas se realizan
  - De dónde vienen las ideas
  - Cómo se evalúan las ideas
  - Qué se hace con estas ideas
- Convenceros de que puede ser un buen trabajo

4

Methodology for Research in Microprocessors

Única

## Agenda

- La investigación científica
- El método científico
- Estudio del Entorno. Propuesta de ideas
- Preparación y validación de experimentos
- Interpretación de resultados
- Diseminación de resultados

Única

5

Methodology for Research in Microprocessors

## Definiciones

- **Investigación:**
  - RAE: Actividad que tiene por fin ampliar el conocimiento científico, sin perseguir, en principio, ninguna aplicación práctica
  - Wikipedia: La **investigación científica** es la búsqueda intencionada de conocimientos o de soluciones a problemas de carácter científico
- **Investigador:**
  - RAE: Persona que realiza investigación
  - Persona que tiene el firme convencimiento que sus conocimientos pueden mejorar un proceso o solucionar un problema

6

Methodology for Research in Microprocessors

Única

## Qué necesito para ser investigador?

- Infinitas ganas de aprender
- Mucha paciencia
- Mucha dedicación
- Mucho espíritu crítico
- Mucha iniciativa/inventiva

7

Methodology for Research in Microprocessors



## Reconocimiento

- Video "Intel's Rock Star"

9

Methodology for Research in Microprocessors



## Mi lugar de trabajo



11

Methodology for Research in Microprocessors



## Qué obtengo por ser investigador?

- Reconocimiento
- Realización personal
- Convertirte en un experto a nivel mundial en un tema concreto

8

Methodology for Research in Microprocessors



## Reconocimiento?

- Todo el mundo sabe en que trabajas ...
  - 'No se, pero te estás muchas horas allí'
  - 'Tu trabajo consiste en acelerar ordenadores'
  - 'Hace que los ordenadores sean más pequeños y se calienten más'
- ... y lo valoran
  - Investigar en Intel era considerado profesión de riesgo en un banco para otorgarte una hipoteca porque los detectives no tenían ingresos fijos
- Por no hablar de los medios de comunicación

10

Methodology for Research in Microprocessors



## Y entonces?

- Si a un investigador le haces las siguiente encuesta
  - Te gusta tu trabajo?
  - Lo cambiarías por otro?
  - Lo cambiarías por otro trabajo razonable relacionado con la informática?
- Las respuestas serían por amplia mayoría
  - Sí → 95%
  - Sí → 70%
  - No → 90%

12

Methodology for Research in Microprocessors



## Agenda

- La investigación científica
- El método científico
- Estudio del Entorno. Propuesta de ideas
- Preparación y validación de experimentos
- Interpretación de resultados
- Diseminación de resultados

13

Methodology for Research in Microprocessors



## Fuentes de conocimiento

- Azar:
- El método científico

14

Methodology for Research in Microprocessors



## Grandes descubrimientos por azar

- Gastronomía
  - Queso
  - Coñac
  - "LSD"
  - Patatas Chips
- Otros campos
  - Caucho vulcanizado

Y en la ciencia ... ???

15

Methodology for Research in Microprocessors



## El azar en la ciencia

- Alexander Fleming: Penicilina
- Wilhem Roentgen: Rayos X
- Percy Spencer: Microondas

16

Methodology for Research in Microprocessors



## Pregunta: En qué se parecen?

- Los tres recibieron el Premio Nobel por sus arduas investigaciones y descubrimientos
- Los tres eran estadounidenses
- Los tres estaban investigando cuando la suerte les sonrió
- Los tres anteriores son correctas

17

Methodology for Research in Microprocessors



## El método científico

Conjunto de reglas aceptadas por la comunidad científica para guiar la investigación

1. Observación del medio
2. Planteamiento de hipótesis
3. Probación de las hipótesis mediante experimentación
4. Tesis o teoría científica (conclusiones)

18

Methodology for Research in Microprocessors



## Investigación aplicada/tecnológica

- Investigación que se realiza en ingeniería y que genera conocimientos para el sector productivo
  - Farmacéuticas
    - Nuevas vacunas
  - Automóvil
    - Seguridad
    - Prestaciones
    - Consumo
  - Tecnología
    - Seguridad
    - Prestaciones / Velocidad
    - Consumo

19

Methodology for Research in Microprocessors



## Agenda

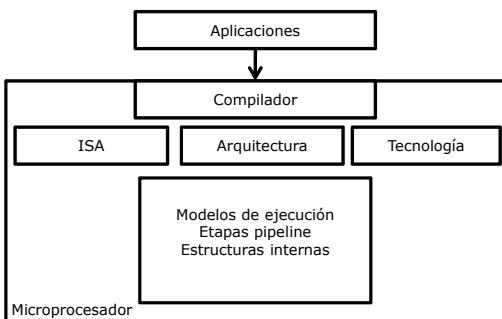
- La investigación científica
- El método científico
- Estudio del Entorno. Propuesta de ideas
- Preparación y validación de experimentos
- Interpretación de resultados
- Diseminación de resultados

21

Methodology for Research in Microprocessors



## El "entorno" microprocesador



23

Methodology for Research in Microprocessors



## El método científico en el estudio de microprocesadores

1. Observación del medio
  - Estudio del entorno
  - Detectar qué se ha de mejorar
2. Planteamiento de hipótesis
  - Plantear cómo se puede mejorar
3. Probación de hipótesis
  - Preparación de experimentos
4. Teoría científica
  - Patentes/Prototipos
  - Artículos

20

Methodology for Research in Microprocessors



## Estudio del entorno / Observación

- Observación del fenómeno a fin de poder formular una hipótesis
- Incluye
  - Tomar medidas sobre el proceso
  - Comparar diferentes realizaciones del suceso

22

Methodology for Research in Microprocessors



## Posibles mejoras

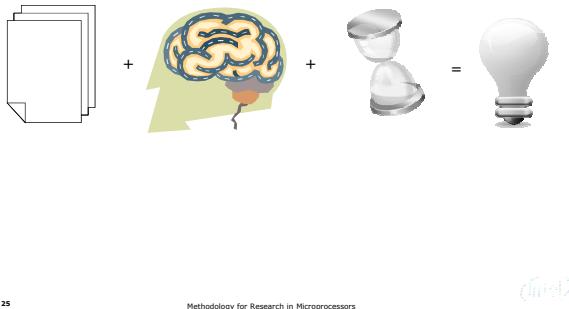
- Reducir el tiempo de ejecución de las aplicaciones
  - $T_{ejec} = \#inst * CPI * Frec$
- Consumir menos (más tiempo de batería)
  - $P = Frec * V^2 * C * Act$

24

Methodology for Research in Microprocessors



## Propuesta de ideas



25

Methodology for Research in Microprocessors

dificil

## Utilidad

- La idea debe ser nueva
  - Hacer un estudio exhaustivo del tema
- La idea debe mejorar una situación real / actual
  - El problema detectado no debe ser artificial

26

Methodology for Research in Microprocessors

dificil

## Qué se puede hacer?

- Procesadores actuales IPC ~ = 1
  - Con un Ancho de Banda de Issue de 4/6
  - Rendimiento de memoria ~70/80% tasa aciertos
  - Explotar TLP / MLP además de ILP
- Pentium-4 consumía cerca de 80W a 3.6GHz
  - Actuales Core 2 Duo está entorno 35W a 2.2GHz

27

Methodology for Research in Microprocessors

dificil

## Ejemplos

- Problema: el coste de SQRT de ~40 ciclos
  - Buscar un algoritmo que tarde en media 10 ciclos
- Problema: La tasa de fallos en cache es muy elevada
  - Buscar un prefetcher mejor basado en agrupar instrucciones dependientes
- Problema: el ROB se llena en caso de fallos en L2
  - Graduar las instrucciones especulativamente y para las instrucciones dependientes predecir el valor que vendrá de L2

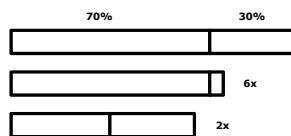
28

Methodology for Research in Microprocessors

dificil

## Impacto de la idea. Ley de Amdahl

$$A = \frac{1}{(1 - F_m) + F_m/A_m}$$



29

Methodology for Research in Microprocessors

dificil

## Tienen impacto nuestros ejemplos?

- SQRT?
  - Representan en media menos del 0.01% de las instrucciones
- Fallos de memoria?
  - ~30% instrucciones son loads
  - ~10% de los accesos a memoria son fallos
- ROB?
  - Cada vez la latencia de L2 es mayor
  - Cada vez se hace fetch de mayor número de instrucciones
  - ROB no aumenta significativamente en cada generación

30

Methodology for Research in Microprocessors

dificil

## El factor tiempo en el estudio de microprocesadores

- La investigación en microprocesadores se hace a 5-7 años vista
  - 4 últimos años son para la fabricación del chip, pero el diseño está ya congelado
  - Tecnología de fabricación todavía no existe
- Esto influye en el entorno
  - Qué querrán los consumidores de aquí 6 años?
  - Cómo serán las aplicaciones de entonces?

31

Methodology for Research in Microprocessors



## Agenda

- La investigación científica
- El método científico
- Estudio del entorno. Propuesta de ideas
- Preparación y validación de experimentos
- Interpretación de resultados
- Diseminación de resultados

32

Methodology for Research in Microprocessors



## Pero antes ...

- Detallar la propuesta
  - Identificar los bloques afectados
  - Encajar la técnica en el pipeline
    - Asignar cuándo y durante cuánto va a realizarse cada paso de la técnica
  - Detectar algún posible caso patológico
    - Rollbacks
- Establecer nuestra microarquitectura base
  - Actual
  - Justa

33

Methodology for Research in Microprocessors



## Nuestros ejemplos

- SQRT:
  - Sólo afecta a la ALU donde está el divisor/SQRT
- Memoria:
  - Tabla adicional para aparejar stores/loads
    - IP de la operación de memoria
    - @ accedida por las operaciones de memoria
  - Casos patológicos
    - Si en una pareja store/load, hay un store entre ellos que escribe en la misma @?
  - Timing
    - Actualizaciones en graduación o en ejecución

34

Methodology for Research in Microprocessors



## Nuestros ejemplos II

- ROB:
  - Predictor de valor para loads
  - Hardware para rollback
    - Guardar todo el estado arquitectónico
  - Timing
    - Actualizaciones del predictor
    - Acceso del predictor

35

Methodology for Research in Microprocessors



## Estudio de potencial

- Simulador sencillo que nos pueda dar una indicación del potencial
  - Técnica ha de estar detallada
  - Las demás partes del procesador según el impacto

Si el potencial es muy inferior al esperado



Volver a la casilla de salida

36

Methodology for Research in Microprocessors



## Cómo experimentar?

Tipo	Desarrol.	Depurac.	Adaptab.	Error	O(t)
Diseño chip	Altísima	Muy costosa	Nula	0	Igual
FPGA	Muy Alto	Muy costosa	Sí	0	Medio
Simulador Detallado	Alto	Costosa	Sí	Poco	Muy lento
Simulador Esquemático	Medio/Alto	Medio/Costosa	Sí	Medio/Poco	Lento

37

Methodology for Research in Microprocessors



## Con qué experimentar?

- Programas de prueba (benchmarks)
  - Coherentes con la propuesta
    - Reflejen el problema que queremos tratar
  - Disponibles para todo el mundo
  - Programas reales / sintéticos
- Suites reconocidas
  - SPEC.org
  - MediaBench, PhysicBench, etc.

38

Methodology for Research in Microprocessors



## Agenda

- La investigación científica
- El método científico
- Estudio del Entorno. Propuesta de ideas
- Preparación y validación de experimentos
- Interpretación de resultados
- Diseminación de resultados

39

Methodology for Research in Microprocessors



## Qué he de mirar?

- Fundamentalmente, aquello que estamos intentando mejorar
  - Velocidad → Tiempo de ejecución
  - Consumo → Potencia consumida
- Pero se ha de intentar justificar el por qué de la mejora / empeoramiento
  - Tratamiento de outliers
  - Números extraños
    - Fuera de rango
    - Comportamientos anómalos

40

Methodology for Research in Microprocessors



## Métricas

- Métricas reales
  - Tiempo de ejecución (s)
  - Potencia consumida (W)
  - Fallos por año
- Otras métricas
  - IPC
  - Fallos de cache / Fallos predicción
  - ED / ED<sup>2</sup>

41

Methodology for Research in Microprocessors



## Resumir todo en un número

- Medias
  - Aritmética
    - Distribuciones normales
    - Tiempo, Tasas de fallos
    - Sensible a outliers
  - Geométrica
    - Distribuciones no normales
    - Insensible a outliers
    - Rendimiento
  - Harmónica
    - Insensible a outliers
    - Rendimiento, velocidad
- NO HACER MAL USO DE ELLAS !!!

42

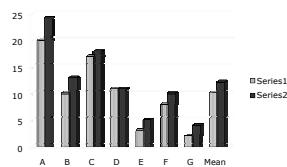
Methodology for Research in Microprocessors



## Ingeniería de números I

### • Relatividad

- Porcentaje de mejora de las técnicas 1 y 2



– "La serie 2 mejora la serie 1 en un 20%"

43

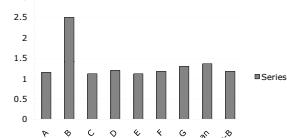
Methodology for Research in Microprocessors



## Ingeniería de números

### • Outliers

- ... la técnica A obtiene una mejora en rendimiento del 38%



– ... la técnica A (sin B) obtiene una mejora del 17%

45

Methodology for Research in Microprocessors



## Agenda

- La investigación científica
- El método científico
- Estudio del Entorno. Propuesta de ideas
- Preparación y validación de experimentos
- Interpretación de resultados
- Diseminación de resultados

47

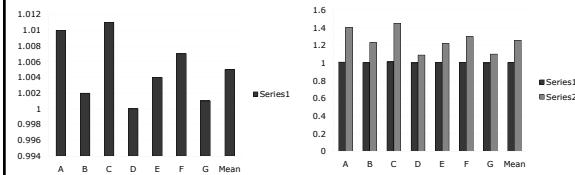
Methodology for Research in Microprocessors



## Ingeniería de números II

### • Parcialidad

- ... la técnica A obtiene una mejora de 0,5%



- ... la técnica A obtiene una mejora del 26%

44

Methodology for Research in Microprocessors



## Ingeniería de números IV

### • Imaginación

- Nuestra técnica obtiene una mejora del 15% en el ratio fallos de cache por cada 1000 fallos de saltos

46

Methodology for Research in Microprocessors



## Diseminación de resultados

- Compartir tus ideas con los demás investigadores del mundo
  - Escribir un artículo
    - Presentarlo en una conferencia
    - Publicarlo en una revista
  - Escribir una patente
  - Escribir una tesis

48

Methodology for Research in Microprocessors



## **Y luego ...**

- Fama, reconocimiento, trabajo y...

## **Vuelta a empezar**

49

Methodology for Research in Microprocessors



## **Agradecimientos**

- Ramon Canal
- Josep-Llorenç Cruz
- Pepe González
- Fernando Latorre
- Javier Lira
- Grigoris Magklis
- Raúl Martínez

50

Methodology for Research in Microprocessors

