

Título

Plan de estudios para Arquitecturas Avanzadas

Autores

Jesús Bobadilla Sancho (e-mail: jboobi@eui.upm.es)

Jesús Bernal Bermúdez (e-mail: jbernal@eui.upm.es)

Abraham Gutiérrez Rodríguez (e-mail: abraham@eui.upm.es)

Jorge Tejedor Cerbel (e-mail: jtejedor@eui.upm.es)

Profesores de la Universidad Politécnica de Madrid.

Escuela Universitaria de Informática

Ctra. De Valencia Km. 7

28031 Madrid, España.

Resumen

Arquitecturas avanzadas, se caracteriza por cubrir un área técnica muy amplia y en continua actualización. En este artículo, Arquitecturas avanzadas se diseña con un temario de teoría amplio, mostrando las características más importantes de los sistemas basados en múltiples procesadores, múltiples computadores y múltiples unidades de proceso. También se incluye como tema la organización de los procesadores superescalares, ofreciendo una continuación a parte de los conocimientos más representativos impartidos en la asignatura arquitectura de computadores.

En este artículo se propone un modelo de prácticas en las que el sistema multicomputador es una red de ordenadores y el entorno de desarrollo está basado en PVM (Parallel Virtual Machine). PVM y MPI se está convirtiendo en una referencia obligada para el desarrollo de aplicaciones sobre sistemas de procesamiento paralelo de grano grueso.

Palabras Clave

Arquitectura de Computadores, Arquitecturas Avanzadas, Procesamiento paralelo, Plan de estudios

OBJETIVOS

- Ampliar los conocimientos adquiridos por los alumnos en la asignatura Arquitectura de Computadores, mostrando la organización y arquitectura de los procesadores actuales.
- Enseñar los principios y organización de los sistemas de cómputo paralelo basados en múltiples procesadores, múltiples computadores y múltiples unidades de proceso.
- Proporcionar unos conocimientos amplios en el área, tanto a nivel teórico como en su realización práctica sobre sistemas de procesamiento reales.
- Impartir un programa completo, profundo y coherente, asegurándose de que se llega a un adecuado nivel de conocimientos de cada materia y de las relaciones existentes entre ellas.
- Otorgar una especial importancia al enfoque analítico (abstracto) en la teoría, combinándolo con el enfoque de diseño suministrado en las prácticas; consiguiendo de esta manera facilitar la comprensión por parte del alumno de las innovaciones futuras que se produzcan en el área.
- Hacer uso de unas prácticas que los alumnos puedan utilizar, ampliar y experimentar fuera del laboratorio de la asignatura y que les pueda ayudar de forma efectiva a alcanzar una mejor comprensión de los conceptos impartidos en la teoría.

PROGRAMA DE TEORÍA

1 Introducción

- 1.1 Necesidades, evolución de la tecnología
- 1.2 Conceptos
 - 1.2.1 Parámetros de medición de prestaciones
 - 1.2.2 Tipos/Fuentes de paralelismo
 - 1.2.3 Acoplamiento
 - 1.2.4 Escalabilidad
- 1.3 Clasificación de Flynn
 - 1.2.1 Organización estructurada en niveles
 - 1.2.2 Organización basada en unidades funcionales
- 1.3 Clasificación ampliada
- 1.4 Perspectiva histórica, tendencias, implantación

2 Conectividad

- 2.1 Necesidad
- 2.2 Caracterización de las redes
 - 2.2.1 Clasificación
 - 2.2.2 Caracterización por grafos
 - 2.2.3 Perfiles de comunicación
 - 2.2.4 Encaminamiento
- 2.3 Redes estáticas
 - 2.3.1 Array lineal
 - 2.3.2 Anillo de grado n
 - 2.3.3 Árbol y estrella
 - 2.3.4 Mallas y toroides
 - 2.3.5 Matrices sistólicas
 - 2.3.6 Hipercubo con y sin ciclos

- 2.3.7 Tabla de parámetros
- 2.4 Redes dinámicas
 - 2.4.1 Buses jerárquicos
 - 2.4.2 Red de barras cruzadas
 - 2.4.3 Redes multietapa formadas con conmutadores

3 Multiprocesadores

- 3.1 Organización de multiprocesadores
- 3.2 Modelos
 - 3.2.1 NUMA. Numa-Q 2000
 - 3.2.2 UMA. Sun Enterprise 10000
 - 3.2.3 NC-NUMA
 - 3.2.4 CC-NUMA. Sequent NUMA-Q 2000
 - 3.2.5 COMA
- 3.3 Coherencia de cachés
 - 3.3.1 Repaso de teoría de cachés
 - 3.3.2 Tipos de Inconsistencia
 - 3.3.3 Solución centralizada: protocolos *snoopy*. MESI
 - 3.3.4 Solución distribuida: directorios limitados, completos y encadenados

4 Multicomputadores

- 4.1 Organización de multicomputadores
- 4.2 Multicomputadores MPP
 - 4.2.1 Características de las máquinas MPP
 - 4.2.2 INTEL/SANDIA ASCI option red
- 4.3 Multicomputadores COW/NOW
 - 4.3.1 Factores económicos y características técnicas
 - 4.3.2 Microsoft Wolfpack
 - 4.3.3 Proyecto NOW de Berkeley
- 4.4 Comunicaciones software por paso de mensajes
 - 4.4.1 PVM
 - 4.4.2 MPI

5 Procesadores superescalares

- 5.1 Definiciones y conceptos
- 5.2 Conflictos en los accesos a los recursos. Tipos de dependencias
- 5.3 Planificación en el orden de las instrucciones
 - 5.3.1 Estrategias de finalización de instrucciones
 - 5.3.2 Estrategias de distribución de instrucciones
 - 5.3.3 Estrategias combinadas
- 5.3 Organización de un procesador superescalar genérico
- 5.4 Prestaciones
- 5.5 INTEL IA-64/ITANIUM
 - 5.5.1 Origen y características básicas
 - 5.5.2 Evolución de las arquitecturas INTEL
 - 5.5.3 Afirmación de saltos
 - 5.5.4 Cargas especulativas
 - 5.5.5 Arquitectura del ITANIUM: IA-64
 - 5.5.6 Organización del ITANIUM

6 Máquinas SIMD

- 6.1 Procesamiento vectorial
 - 6.1.1 Definiciones
 - 6.1.2 Tipos de instrucciones vectoriales
 - 6.1.3 Memorias entrelazadas
 - 6.1.4 Reglas de diseño
 - 6.1.5 Funciones vectoriales compuestas y encadenamiento hardware
- 6.2 Procesamiento sistólico
 - 6.2.1 Algoritmos regulares de grado fino
 - 6.2.2 El modelo sistólico
 - 6.2.3 Tecnologías involucradas
 - 6.2.4 Metodología de mapeado
 - 6.2.5 Técnicas de particionamiento
 - 6.2.6 Ejemplos LSGP y LPGS

TIEMPOS ASIGNADOS A CADA TEMA

0. Presentación	1 h.
1. Introducción	2 h.
2. Conectividad	4 h.
3. Multiprocesadores	6 h.
4. Multicomputadores	5 h.
5. Procesadores Superescalares	6 h.
6. Máquinas SIMD	6 h.

PRÁCTICAS

Las prácticas propuestas en esta asignatura presentan las siguientes características generales: número de créditos 3, se dispone de laboratorio propio con autorización de las mismas.

Las prácticas de la asignatura se centran en la utilización de PVM (Parallel Virtual Machine) como soporte de procesamiento paralelo sobre sistemas NOW/COW (que en nuestro caso consiste en una red de equipos ejecutando el demonio de PVM y con las bibliotecas de comunicaciones instaladas).

PVM es el sistema de procesamiento paralelo multicomputador más utilizado en el ámbito académico. En el entorno empresarial se hace un mayor uso de MPI, aunque se espera que en un futuro ambas tecnologías (no excluyentes) se unifiquen, recogiendo las mejores características de cada una.

Todas las prácticas de esta asignatura están diseñadas para poder realizarse en 4 horas (el equivalente a dos turnos), salvo la primera práctica, de introducción, que se puede terminar en 2 horas. Las prácticas pueden desarrollarse en el Centro de Cálculo de la EUI (accediendo a los equipos servidores del Departamento).

Una ventaja importante de las prácticas propuestas es la posibilidad de realizarse en casi cualquier máquina UNIX/Linux a la que los alumnos tengan libre acceso, puesto que el software de PVM es multiplataforma y de libre distribución. En la asignatura se mostrará la forma de obtenerlo y de instalarlo. Esto proporciona un mayor grado de flexibilidad para cursar la asignatura y, sin duda, algunos alumnos podrán beneficiarse de ello.

También es posible utilizar los servidores del Departamento de manera remota las 24 horas del día.

Objetivos generales

- Hacer que los alumnos asimilen las técnicas y metodologías de programación paralela, utilizando el paso de mensajes como primitiva de sincronización/comunicación.

- Proporcionar un entorno de procesamiento paralelo multicomputador sobre el que programar los algoritmos y evaluar las prestaciones obtenidas variando los recursos utilizados (número de equipos empleados, aplicaciones simultáneas, estado de la red, etc.).
- Entrenar a los alumnos en el uso de uno de los sistemas software de soporte de procesamiento paralelo multicomputador más extendido en el mundo, tanto a nivel académico como empresarial.

Práctica 1: el entorno del pvm

Los objetivos son los siguientes:

- Mostrar la ubicación, forma de instalación y funcionamiento básico del entorno de PVM.
- Dirigir a los alumnos en un primer ejemplo de programación con PVM.
- Explicar las rutinas más útiles de comunicaciones y gestión de procesos que ofrece PVM.
- Repasar los principales modelos de procesamiento paralelo haciendo uso de paso de mensajes.

La duración de esta práctica es de 2 horas (una sesión de laboratorio). No existen prerequisites necesarios para su realización.

Práctica 2: Esquemas básicos de comunicación

Los objetivos son los siguientes:

- Consolidar los conocimientos relativos a la utilización del entorno de PVM adquiridos en la práctica anterior.
- Familiarizar al alumno con el uso de las primitivas de comunicación más utilizadas en PVM.

La duración de esta práctica es de 4 horas. Para su realización se requiere haber realizado y asimilado la práctica 1 y tener unas nociones mínimas de programación en C.

Aunque esta práctica no es compleja, se ha establecido una duración de 4 horas debido a que es la primera del curso en la que el alumno tiene que implementar y probar su propia solución al problema planteado.

Práctica 3: Generación de números primos

Los objetivos son los siguientes:

- Desarrollar una aplicación paralela y comprobar la eficiencia conseguida en la ejecución en el sistema multicomputador utilizado.
- Enfrentarse con la problemática de la terminación ordenada de procesos.

La duración de esta práctica es de 4 horas. Para su realización se requiere una experiencia previa (típicamente la suministrada por la práctica anterior) en programación paralela con PVM. También se requiere una cierta práctica de programación en lenguaje C.

Práctica 4: cálculo de fractales

Los objetivos son los siguientes:

- Desarrollar una aplicación paralela con dominio del cálculo frente a las comunicaciones.
- Utilizar el modelo de granja de procesadores para resolver el problema.

La duración de esta práctica es de 4 horas (dos sesiones). Esta práctica podrá realizarse con facilidad si se ha completado la anterior (práctica 3) y se conoce la manera de dibujar pixels en pantalla haciendo uso del compilador de C utilizado.

Práctica 5: generación de espectros de voz

Los objetivos son los siguientes:

- Realizar una aplicación paralela que requiere cálculo numérico intensivo
- Conseguir que el alumno estudie e implemente varias descomposiciones del problema, tratando de mejorar lo máximo posible los tiempos de ejecución de la aplicación en el sistema multicomputador utilizado.

La duración prevista para esta práctica es de 4 horas. Para que la práctica se pueda realizar en este tiempo resulta necesario que el alumno domine las técnicas de paralelización, el entorno de PVM y tenga unas nociones adecuadas de programación en C.

Práctica de referencia: ordenación paralela

Los objetivos son los siguientes:

- Servir de modelo para el desarrollo de las prácticas 3, 4 y 5 de la asignatura.
- Proporcionar un ejemplo con código que sirva de referencia a los alumnos.
- Implementar un algoritmo paralelo de ordenación de una secuencia de números enteros y probar ejecuciones en más de un procesador físico.

Secuenciamiento

A continuación se presenta una tabla que refleja la secuencia de las prácticas a lo largo de las 15 semanas que tiene un cuatrimestre:

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Núm. práctica		Org	1	2	2	3	3	4	4	5	5			Exa	Exa

La primera semana, representada por el cuadro rayado, es la del comienzo del curso, donde habitualmente todavía existen bastantes alumnos sin matricular, y en la que resultaría imposible plantear la realización de prácticas.

La segunda semana, en la que aparece el rótulo “Org” (Organización), se dedica a organizar el arranque de las prácticas tutorizadas.

La tercera semana, habitualmente, se requiere para completar la organización: dejar un tiempo razonable para que los alumnos conozcan los resultados, resolver los problemas puntuales de cambios e “intercambios” necesarios de última hora, etc. Si en la primera semana se intenta comenzar con la organización, existe alguna posibilidad de no tener que hacer uso de la tercera; de esta manera se obtiene un margen mayor para los retrasos en las prácticas a lo largo del curso. Debido a que el número de alumnos matriculados en esta asignatura tiende a ser no muy grande, se puede forzar el comienzo de las prácticas en la tercera semana del cuatrimestre.

SECUENCIAMIENTO DEL CURSO

En este apartado se presenta el secuenciamiento del curso contemplando simultáneamente la realización de las prácticas y la impartición de la teoría. También se tiene en cuenta el hecho de que habitualmente no se puede contar con las 15 semanas del cuatrimestre en todos los grupos, especialmente debido a la existencia de días festivos que inevitablemente afectan a unos grupos en mayor medida que a otros, en función de la localización de las horas de teoría y prácticas dentro de los diferentes días lectivos de la semana.

La siguiente tabla resume la secuencia de las clases:

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Tema de teoría	0/1	1/2	2/2	2/3	3/3	3/3	3/4	4/4	4/4	5/5	5/5	5/5	6/6	6/6	6/6
Núm. práctica		Org	1	2	2	3	3	4	4	5	5			Exa	Exa

Secuenciamiento del curso

TEORÍA	PRÁCTICAS
Tema 0: Presentación	1. El entorno de PVM
Tema 1: Introducción	2. Esquemas básicos de comunicación
Tema 2: Conectividad	3. Generación de números primos
Tema 3: Multiprocesadores	4. Cálculo de fractales
Tema 4: Multicomputadores	5. Generación de espectros de voz
Tema 5: Procesadores superescalares	Práctica de referencia: ordenación paralela
Tema 6: Máquinas SIMD	

El apartado de teoría seleccionado como “colchón” en el caso de que no se puedan impartir todas las horas previstas del curso es “procesamiento sistólico”, correspondiente al tema “SIMD”.

CONCLUSIONES

Arquitecturas Avanzadas es una asignatura cada vez más importante en los planes de estudio de Ingeniería Informática. Dentro de esta asignatura pueden tener cabida temas tan actuales como el aumento de prestaciones, arquitecturas superescalares, arquitecturas multiprocesador o multicomputador, etc.

Las prácticas de esta asignatura presentan un alto grado de dificultad en su implementación. Debido a la complejidad existente en las nuevas tecnologías arquitecturales resulta a menudo difícil plantear prácticas basadas en máquinas y entornos reales. Los entornos de simulación pueden cubrir parte de los requisitos.

En este artículo se plantea la relación de aplicaciones utilizando PVM como soporte de utilización real de configuraciones MIMD, este tipo de prácticas facilita la utilización de estas arquitecturas en otras asignaturas del plan de estudios

BIBLIOGRAFÍA

- Advanced Computer Architecture, Kai Hwang, McGraw Hill Series in Computer Science, 1993
- Scalable Parallel Computing, Kai Hwang, Zhiwey Xu, McGraw Hill, 1998
- Computer Organization and Architecture, fifth edition, William Stallings, Prentice Hall, 2000
- Structured Computer Organization, Andrew S. Tanenbaum, Prentice Hall, 1999
- PVM A User's Guide and Tutorial for Networked Parallel Computing, Al Geist et Al., The MIT Press, 1992